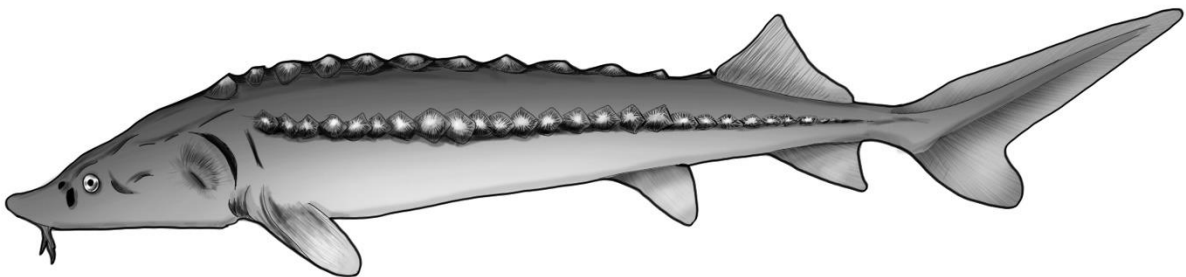


Trabajo de Fin de Grado

Estudio del desarrollo de las aletas en juveniles de *Acipenser naccarii*



Alumno: **Raúl Marín Aragón**

Universidad de Cádiz
Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales
Departamento de Biología
Septiembre 2018



Estudio del desarrollo de las aletas en juveniles de *Acipenser naccarii*

Memoria presentada por **Raúl Marín Aragón** para la obtención del Título de Grado en Ciencias del Mar en la Universidad de Cádiz.

Fdo.: Raúl Marín Aragón

Puerto Real a 14 de Septiembre de 2018

TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN CIENCIAS DEL MAR

Remedios Cabrera Castro, Profa. Dra. del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales como tutora del Trabajo Fin de Grado titulado: *“Estudio del desarrollo de las aletas en juveniles de Acipenser naccarii”*, realizado por **Raúl Marín Aragón**.

INFORMA: que el trabajo presentado en la presente memoria se ha llevado a cabo bajo mi tutela en las dependencias del Departamento de Biología en la Universidad de Cádiz.

Y para que así conste firmo el presente informe en Puerto Real a 14 de Septiembre de 2018.

Fdo.: Dra. Remedios Cabrera Castro

TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN CIENCIAS DEL MAR
Septiembre, 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer su apoyo a todos mis amigos: a ambos Álvaros, Quevedo y Palenque, a Antonio, Carlos y Paco, en especial a Irene, por su todo lo que ha hecho por mí durante este tiempo. A Reme, por su apoyo y dedicación sin los cuales este trabajo no sería posible. Y a mi familia, por estar siempre ahí.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
 1. INTRODUCCIÓN.....	 2
1.1 <i>Acipenser naccarii</i>	3
1.1.1 Distribución y hábitat	4
1.1.2 Alimentación	5
1.1.3 Morfología	5
 1.2 Justificación.....	 6
1.3 Hipótesis y Objetivos	7
1.3.1 Hipótesis	7
1.3.2 Objetivos	7
 2. MATERIAL Y MÉTODOS	 8
2.1. Nomenclatura utilizada	9
2.2. Protocolo	9
2.3. Toma de medidas de aletas.....	10
2.4. Tratamiento de datos	12
 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 12
 4. CONCLUSIONES	 28
 5. BIBLIOGRAFÍA	 29

Índice De Figuras

Figura 1: <i>Vista ventral en detalle de la cabeza del esturión del Adriático, destacando sus barbillones (B).....</i>	2
Figura 2: <i>Proporción de la producción total acumulada en agua dulce por comunidades autónomas, excluyendo a la trucha arcoíris (1998–2015). (Muñoz-Lechuga y col., (2017))</i>	4
Figura 3: <i>Morfología externa del esturión del Adriático, <u>Acipenser naccarii</u> destacando sus rasgos morfológicos más característicos: Barbillones (B), aletas anal, caudal, dorsal pectoral y ventral (AF), (CF), (DF), (PF), (VF) y los escudetes dorsales y laterales (DS), (LS) (Bonaparte, 1836) Fuente: Elaboración propia</i>	5
Figura 4: <i>Ilustración usada como patrón para las medidas de las aletas pares: Ancho (A) y Largo (L) a) Aleta pectoral (PF) y b) Aletas ventrales (VF). Fuente: Elaboración propia</i>	10
Figura 5: <i>Representación gráfica de la toma de medidas para la aleta dorsal (DF) desde una vista lateral. (A) Ancho; (L) Largo. Fuente: Elaboración propia</i>	11
Figura 6: <i>Diseño de la aleta caudal (CF) vista desde el flanco izquierdo ilustrando las medidas tomadas (L) Largo de la aleta y (A) Ancho del Lóbulo superior de la aleta caudal (CFUS) e inferior (CFLS). Fuente: elaboración propia</i>	11
Figura 7: <i>Secuencia de desarrollo de la aleta caudal (CF) y dorsal (DF)</i>	14
Figura 8: <i>Modelos de longitud (L) de la aleta caudal (CF) frente a la edad (HPH) (a) y la longitud total (LT) (b)</i>	14
Figura 9: <i>Comparación de las medidas del ancho (A) del lóbulo superior de la aleta caudal (CFUS) frente a la edad (HPH) (c) y longitud total (LT) (d)</i>	15
Figura 10: <i>Comparación de las medidas del ancho (A) del lóbulo inferior de la aleta caudal (CFLS) frente a la edad (HPH) (e) y longitud total (LT) (f)</i>	15
Figura 11: <i>Modelos del ancho (A) de la aleta dorsal (DF) frente a la edad (HPH) (a) y la longitud total (LT) (b)</i>	17
Figura 12: <i>Comparación de las medidas de la longitud (L) de la aleta dorsal (DF) frente a la edad (HPH) (c) y longitud total (LT) (d)</i>	17
Figura 13: <i>Relación entre ambas medidas, longitud (L) y ancho (A), para la aleta dorsal (DF)</i>	18
Figura 14: <i>Secuencia de desarrollo de las aletas pectorales (PF).....</i>	19
Figura 15: <i>Comparación de las medidas de anchura (A) de la aleta pectoral izquierda (L-PF) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b) desde una vista ventral</i>	20
Figura 16: <i>Comparación de las medidas de longitud (L) de la aleta pectoral izquierda (L-PF) frente a la edad (HPH) (c) y longitud total (LT) (d) desde una vista ventral</i>	20
Figura 17: <i>Relación entre ambas medidas, ancho (A) y longitud (L), para la aleta pectoral izquierda (L-PF) con vista ventral</i>	20
Figura 18: <i>Comparación de las medidas de anchura (A) de la aleta pectoral derecha</i>	

<i>(R-PF) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b) desde una vista ventral</i>	21
Figura 19: <i>Comparación de las medidas de longitud (L) de la aleta pectoral derecha (R-PF) frente a la edad (HPH) (c) y longitud total (LT) (d), cara ventral</i>	21
Figura 20: <i>Relación entre ambas medidas, ancho (A) y longitud (L), para la aleta pectoral derecha (R-PF) con vista ventral</i>	22
Figura 21: <i>Secuencia de desarrollo de las aletas ventrales (VF)</i>	23
Figura 22: <i>Comparación de las medidas de anchura (A) de la aleta ventral izquierda (L-VF) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b) desde una vista ventral</i>	24
Figura 23: <i>Comparación de las medidas de longitud (L) de la aleta ventral izquierda (L-VF) frente a la edad (HPH) (c) y longitud total (LT) (d) desde una vista ventral</i>	24
Figura 24: <i>Relación entre ambas medidas, ancho (A) y longitud (L), para la aleta ventral izquierda (L-VF) con vista ventral</i>	25
Figura 25: <i>Comparación de las medidas de anchura (A) de la aleta ventral derecha (R-VF) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b) desde una vista ventral</i>	25
Figura 26: <i>Comparación de las medidas de longitud (L) de la aleta ventral derecha (R-VF) frente a la edad (HPH) (c) y longitud total (LT) (d) desde una vista ventral</i>	26
Figura 27: <i>Relación entre ambas medidas, ancho (A) y longitud (L), para la aleta ventral derecha (R-VF) con vista ventral</i>	26

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	33
ANEXO 1. Protocolo Metodológico	
ANEXO 2. Modelos lineales	
ANEXO 3. Imágenes del desarrollo de las aletas (de embrión a adulto)	

RESUMEN

Las aletas son estructuras morfológicas clave en el desarrollo temprano de los peces y constituyen su medio principal de locomoción. El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el desarrollo en estadios tempranos de las aletas del esturión *A. naccarii* a partir de medidas realizadas con el programa ImageJ. Para ello, se utilizaron fotografías de *A. naccarii* procedentes de dos campañas de muestreo. Se tomaron medidas de las aletas: caudal, dorsal, pectorales y ventrales. Las imágenes fueron tomadas desde las vistas dorsal y ventral de los individuos, dando como resultado que la vista ventral refuerza el ajuste al modelo lineal. Este estudio ha permitido elaborar de un protocolo metodológico para estandarizar la toma de medidas de aletas de *A. naccarii* en particular y otros Acipenséridos en general.

Palabras claves: aletas, medidas, *Acipenser naccarii*, morfología, juvenil.

ABSTRACT

Fins are morphological structures, keys on fish early development and they constitute their main locomotion system. This issue aims to research fin development in early stages of the sturgeon *A. naccarii* basing on measures taken through ImageJ software. In order to reach that we used pictures of *A. naccarii* from two samples. Fins measured were: caudal, dorsal, pectoral and ventral fins. Pictures were taken from dorsal and ventral views, as a result, ventral-viewed pictures had better fit for the linear model. This study has allowed the elaboration of a methodological protocol in order to standardize fin measures on *A. naccarii* in particular and other Acipenseridae members, generally.

Keywords: fins, measures, *Acipenser naccarii*, morphology, juvenile.

1. INTRODUCCIÓN

Los esturiones son peces que pertenecen al Orden de los Acipenseriformes. Ocupan una jerarquía taxonómica clave en la evolución de los Actinopterygios. Su relevancia viene dada por su posición como animales basales, que conservan estructuras morfológicas primitivas. Este grupo está constituido por las familias Polyodontidae, peces espátula, y Acipenseridae, que engloba a los esturiones.

Antiguamente, el orden de los Acipenseriformes estaba incluido dentro de la subclase Chondrostei, aunque esta subclase hoy día ha sido calificada como obsoleta al tratarse de un grupo parafilético. El orden está compuesto, como se ha indicado más arriba, por la familia de peces espátula, Polyodontidae y los esturiones, Acipenseridae, que incluyen, a su vez, cinco géneros: *Acipenser*, *Sterlatus*, *Huso*, *Pseudoscaphirhynchus* y *Scaphirhynchus* (WORMS, último acceso 30/07/2018)

Respecto a sus características más destacadas, todos los esturiones cuentan con un cuerpo fusiforme, presentan una aleta caudal heterocerca, un esqueleto cartilaginoso, que incluye el cráneo, y poseen placas óseas en su superficie denominadas escudetes distribuidas en cinco hileras que a lo largo del cuerpo (una fila dorsal, dos laterales y dos ventrales) También tienen cuatro barbillones en la cara ventral del morro que preceden a la boca (Sokolov y Berdichevskiï, 1989), figura 1.

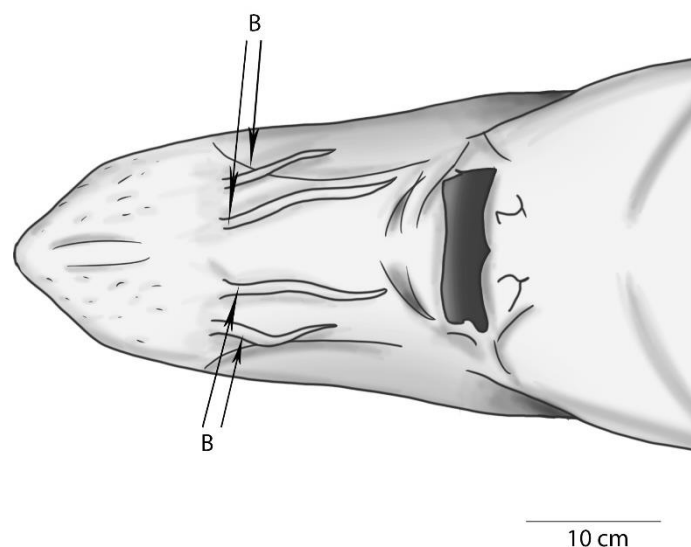


Figura 1. Vista ventral en detalle de la cabeza del esturión del Adriático, destacando sus barbillones (B). Fuente: *Elaboración propia*

A nivel mundial, los esturiones son un grupo de peces de gran interés desde un punto de vista comercial y científico, constituyendo una especie de gran atractivo para la investigación.

Desde la época de la antigua Roma hay constancia de su consumo (Williot y col., 1997) y no podían faltar en las grandes celebraciones. Actualmente resultan cada vez más interesantes en el sector de la acuicultura (Bronzi y col., 2011) ya que los productos extraídos de estos animales están altamente demandados, tanto su carne, como sus huevos, de los cuales se obtiene el tan apreciado caviar, considerado producto de lujo por el que puede pagarse entre 100 y 6000 \$/kg de caviar (Whiteman y col., 2004). A pesar de que el caviar es mundialmente conocido, su explotación se concentra fundamentalmente entre Norteamérica y Europa del Este (especialmente en Rusia y sus países vecinos).

Al igual que su crianza en acuicultura, su pesca fue una actividad económica muy representativa (Jackson y col., 2007) hasta que la sobreexplotación y las construcciones de presas acabaron con sus áreas de desove y se produjo el declive de muchas poblaciones.

Los esturiones se extienden por el hemisferio Norte, en latitudes templadas y frías, a lo largo del océano Atlántico, mar Mediterráneo, mares interiores en Europa, como el mar Caspio, Negro y Azov, y aguas fluviales, tanto de Norteamérica como de Europa y Asia. Presentan en su mayoría un comportamiento anádromo, pues viven en mar abierto y regresan al agua dulce a la hora de realizar sus puestas. Aun así, hay especies potamódromas, que no abandonan su hábitat de agua dulce, y semianádromas, las cuales habitan zonas de agua salobre y se desplazan a aguas fluviales a desovar (FAO, último acceso 18/07/2018)

1.1 *Acipenser naccarii*

La especie *Acipenser naccarii*, Bonaparte (1836), conocida como el esturión del Adriático, forma parte del género *Acipenser*. Esta especie subsistió en los ríos Guadiana y Guadalquivir hasta principios de los 90 (Hernando y col., 1999) Actualmente está considerada en Peligro Crítico por *The IUCN Red List of Threatened Species* y su

población continúa en descenso (Cabrera-Castro y col., 2018)

1.1.1 Distribución y hábitat

Como pez catádro, el esturión del Adriático vive mayoritariamente en aguas fluviales. Generalmente su vida se desarrolla entorno a estuarios y aguas más saladas y asciende a las zonas más altas de los ríos, donde el agua es más fresca y oxigenada a desovar. Mayoritariamente habitaba en los ríos del sur de Europa, tanto de la vertiente Mediterránea (Italia y, en menor medida, Albania, Bosnia Herzegovina, Croacia, Grecia, Montenegro y Eslovenia) (Fishbase, *último acceso*, 30/07/2018) como de la Atlántica -anteriormente en el Guadalquivir y en el Guadiana- (Hernando y col., 1999; Domezain y col., 2003). En la actualidad solo se localiza en España en plantas de piscifactorías (Figura 2), como la situada en Riofrío, Granada. En Viella, Lérida existe otra piscifactoría en el valle de Arán llamada “Caviar Nacarii” pero afirman trabajar sólo con el esturión siberiano *Acipenser baerii*, Brandt (1869), ya que se da por extinta en nuestro país (Gasent y col., 2001).

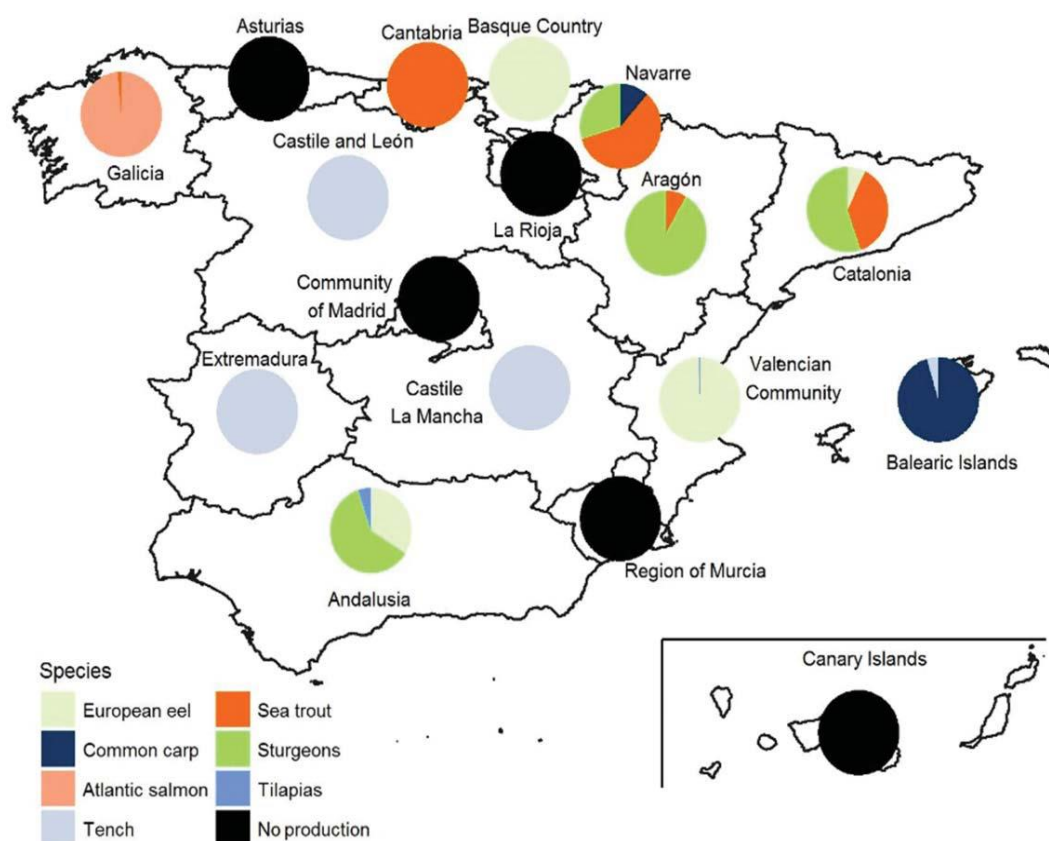


Figura 2. Proporción de la producción total acumulada en agua dulce por comunidades autónomas, excluyendo a la trucha arcoíris (1998–2015), Muñoz-Lechuga y col., (2017)

1.1.2 Alimentación

En esta especie la boca muestra su primera abertura entorno a los primeros 2-3 días post-eclosión (DPH), posteriormente comienza a aparecer los dientes y más tarde estos van desapareciendo de forma progresiva a medida que se desarrollan las barbillas (**B**) (Cabrera-Castro, 2009). Es un proceso de adaptación relativamente rápido, ya que pasa de una forma de vida pelágica a otra bentónica.

Por lo general, es una especie que consume tanto invertebrados bentónicos, como los gusanos de las familias Tubificidae y Lumbricidae (Soriguer y col., 2002), larvas de mosquito y pequeños peces con limitada movilidad (Domezain y col., 2003) en fondos arenosos y enfangados de los lechos fluviales que remueve con sus barbillas. Ocasionalmente puede alimentarse de restos orgánicos, tanto animales como vegetales (Soriguer y col., 2002; Domezain y col., 2003).

1.1.3 Morfología

Acipenser naccarii se identifica por su coloración dorsal parda verdosa y blanquecina en su cara ventral; y, no presenta radios duros en su aleta dorsal, ya que estos acaban constituyendo un escudete. No obstante, dicha aleta posee entre 36 y 48 radios blandos. Asimismo, su aleta anal tiene entre 24 y 31 radios blandos. Muestra, además, un morro ancho donde los barbillones se sitúan más próximos a la punta del hocico que a su boca, siendo los dos centrales ligeramente más largos. Al igual que los demás esturiones, el esturión del Adriático presenta cinco hileras de escudetes óseos, de entre 10 a 14 escudetes en su fila dorsal, de 32 a 42 en las dos filas laterales y entre 8 y 11 en las ventrales, no presentando ninguna placa menor entre las filas laterales y la fila dorsal (Figura 3) Alcanza hasta 200 cm de longitud y más de 50 kg (Fishbase, último acceso 18/07/2018).

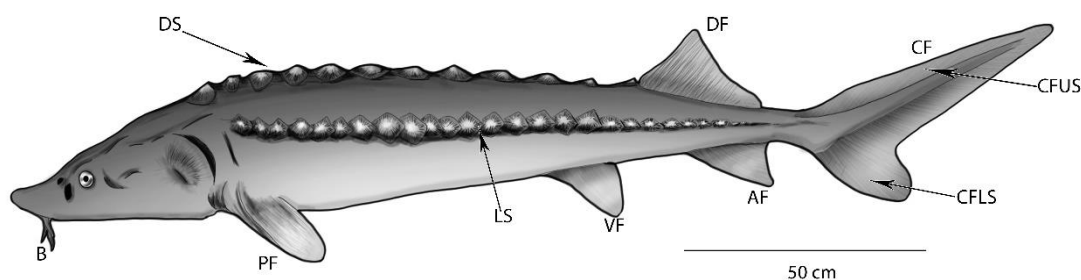


Figura 3. Morfología externa del esturión del Adriático, *Acipenser naccarii* destacando sus rasgos morfológicos más característicos: Barbillones (**B**), aletas anal, caudal, dorsal pectoral y ventral (**AF**), (**CF**), (**DF**), (**PF**), (**VF**) y los escudetes dorsales y laterales (**DS**), (**LS**) (Bonaparte, 1836) Fuente: *Elaboración propia*.

En cuanto a las aletas, estas son estructuras morfológicas clave en el desarrollo temprano de los peces y constituyen su medio principal de locomoción. En todos los esturiones las aletas medias y las ventrales tienen una procedencia única: una membrana que recorre de forma longitudinal su cuerpo de forma continua dorso-ventralmente, y sus aletas pectorales emergen a la altura del saco vitelínico (Cabrera-Castro y col., 2018),

1.2 Justificación

Las poblaciones de esturiones a nivel mundial han sido diezmadas en las últimas décadas (Williot y col., 1997), lo que ha propiciado la búsqueda de medidas para su conservación y formas viables de llevar a cabo repoblaciones de los diferentes *stocks*. Esto se ha traducido en distintas investigaciones sobre la especie.

La mayoría de las iniciativas que se están realizando enfoca sus esfuerzos en desarrollar planes para la conservación de estos peces, apoyándose en la producción acuícola, ya que su reproducción en cautividad puede propiciar la reducción del consumo de las poblaciones en estado salvaje y ayudar a establecer proyectos de repoblación (Arlati y col., 1988; Giovannini y col., 1989; Cabrera-Castro y col., 2018).

El desarrollo del ciclo de vida completo de los peces, en general, en condiciones controladas ha permitido conocer con mayor detalle las etapas de su crecimiento (Balon, 1975). Si se conoce con precisión las características fisiológicas y morfológicas que tienen las especies en acuicultura, así como su evolución a lo largo del ciclo vital del animal, se puede prever el crecimiento de las siguientes generaciones y conseguir que las condiciones en las que se desarrollen sean las óptimas. De igual modo se han llevado a cabo estudios acerca de la producción de híbridos que den lugar a individuos de crecimiento acelerado, mayor tamaño y calidad, capaces de albergar gónadas mayores y magnificar los beneficios (Zhang y col., 2012).

Respecto al esturión del Adriático, ha pasado en pocos años de ser una especie poco conocida, casi sin información, a una especie con gran interés sobre la que se han realizado bastantes estudios. La mayoría de ellos centrados en su fisiología y morfología en relación a su adaptación y a la variación de la salinidad (Cataldi y col., 1995, 1999; McKenzi y col., 1999, 2001a, 2002b; Martínez-Álvarez y col., 2002, 2005; Carmona y col., 2004), a su alimentación (Agradi y col., 1993; Soriguer y col., 2002), su aparato

digestivo (Furné y col., 2005, 2008a), las capacidades antioxidantes (Trenzado y col., 2006; Furné y col., 2008b), la ontogenia de algunos órganos (Cataldi y col., 2002; Vázquez y col., 2002; Grandi & Chicca, 2004; Icardo y col., 2004; Gómez y col., 2009; Camacho y col., 2007; Boglione y col., 1999, 2006), etc. Sin embargo, apenas se han realizado estudios acerca del desarrollo embrionario (Cabrera y col., 2015), y el desarrollo morfológico en fases tempranas (Cabrera-Castro y col., 2018).

Por ahora, no existen estudios sobre el desarrollo de las aletas en los primeros meses de vida para esta especie, aunque sí hay algunos estudios de aletas a nivel tisular en otras especies de esturiones, tales como *Huso huso* y *Acipenser ruthenus* (Zhang y col., 2012), y varios sobre desarrollo y morfología en *Acipenser fulvescens*, *A. medirostris*, *A. transmontanus*, y *Scaphirhynchus albus* (Dillman y Hilton, 2015; Snyder, 2002).

Es por ello que en este trabajo nos hemos propuesto profundizar en el conocimiento, análisis y estudio de las aletas, estructuras tan relevantes para los peces en general y para *A. naccarii* en particular. Para ello, se plantea la siguiente hipótesis y objetivos.

1.3 Hipótesis y Objetivos

1.3.1 Hipótesis

Las aletas presentan un crecimiento proporcional y directo al desarrollo morfológico del esturión desde las primeras fases del embrión de vida libre, y por tanto, está relacionado directamente con su longitud total (crecimiento a lo largo del tiempo).

1.3.2 Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el desarrollo en estadios tempranos de las aletas del esturión *A. naccarii* a partir de medidas realizadas con el software libre de fotografía (ImageJ) en imágenes ya existentes en archivo con el propósito de relacionar la información sobre aletas que hasta el momento hay de la especie con las medidas de las aletas en el transcurso del ciclo de vida del esturión, estableciendo una relación directa entre el crecimiento de cada tipo de aleta y la fase de desarrollo.

Para alcanzar este objetivo general, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

1.- Recopilar la información relacionada con los tiempos de desarrollo de las aletas en *A. naccarii*.

2.- Elaborar un protocolo metodológico para la toma de medidas en función de las diferentes aletas: caudal, dorsal, pectorales y ventrales aglutinando las ya existentes en archivo.

3.- Realizar la toma de medidas a las diferentes aletas y crear una base de datos para su posterior análisis estadístico.

4.- Analizar las medidas obtenidas para las diferentes aletas y estudiar las relaciones existentes entre ellas y a lo largo del tiempo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron fotografías de *A. naccarii* procedentes de dos campañas de muestreo correspondientes a dos reproducciones distintas guardadas en un banco de imágenes del proyecto “*Desarrollo de Sistemas Orgánicos implicados en la alimentación, la conducta y la distribución interna del esturión Acipenser naccarii. Aplicaciones a su cultivo. (AGL2000-0382-P4-05), del Ministerio de Ciencia y Tecnología*” pertenecientes al grupo Dinámica de Poblaciones de Peces RMN243 del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales (Universidad de Cádiz).

Los ejemplares fueron fotografiados a través de una lupa binocular (Leica MZ10) a la que se le acopló una cámara digital Canon®. Cada imagen se codificó indicando: número del ejemplar, parte del ejemplar fotografiada (aleta dorsal, caudal, pectoral y ventral), aumentos, zoom y fecha. De cada ejemplar se contó con fotografías de perspectiva ventral, dorsal y lateral. Las fotos fueron tomadas sobre el flanco izquierdo del animal para favorecer las perspectivas de las aletas medias del mismo.

Para la realización de las medidas biométricas de las imágenes se trabajó primero en un protocolo para optimizar las medidas a tomar en las aletas y la longitud total. Se utilizó el software libre ImageJ, que cuenta con una función la cual da una salida de datos en el sistema métrico a la que se le puede aplicar una conversión al sistema de píxeles.

Los datos se volcaron a una hoja de cálculo y se organizaron para su posterior análisis estadístico mediante Excel y RCommander.

2.1. Nomenclatura utilizada

Para las figuras y gráficas se han utilizado las siguientes abreviaturas:

A – Ancho (medida); **AF** –Aleta Anal; **B** –Barbillones; **CF** –Aleta Caudal; **CFUS** (Caudal Fin Uper Section) –Lóbulo Superior de la Aleta Caudal; **CFLS** ((Caudal Fin Lower Section) –Lóbulo Inferior de la Aleta Caudal; **DF** –Aleta Dorsal; **DS** –Escudete dorsal; **Esc** – Escotadura; **HPH** (Horas Post-Eclosión (*hatching*)) –Horas tras la eclosión; **L** – Largo (medida); **LS** –Escudete lateral; **PF** –Pectoral Fin; **PreF** –Aleta Preanal; **VF** –Aletas Ventrals.

Las aletas pares precedidas por **L-** o **R-** representan aleta izquierda y derecha respectivamente.

2.2. Protocolo

Como se ha apuntado anteriormente, los estudios biométricos son escasos, por lo que, como punto de partida, se ha desarrollado un protocolo metodológico con el fin de realizar de forma ordenada y sistemática el proceso de medición y la recopilación de datos. Este sistema ha consistido en la realización de medidas de la siguiente forma:

1) Ajuste de la escala de calibración de ImageJ con el zoom con el que fue tomada la fotografía.

2) Realización de las mediciones de las aletas: para las aletas pares se tomó ancho y largo como dimensiones estándares. Para las aletas medias se realizaron medidas de longitud y en las fotografiadas en vista lateral se obtuvo también la anchura de cada aleta.

3) Las medidas anteriores fueron realizadas por triplicado a fin de minimizar posibles errores. Con las tres medidas se calculó el valor medio y su desviación estándar.

4) Los datos fueron introducidos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para facilitar su manejo y posterior cambio de formato a la hora de realizar los análisis estadísticos.

2.3. Toma de medidas de aletas

Las aletas a las que se les aplicó el protocolo fueron: caudal, dorsal (aletas impares), pectorales y ventrales (aletas pares)

Para realizar cada medida fue necesario asociar cada individuo con la o las fotografías que le correspondiesen. Una vez identificadas, ImageJ permitió establecer una escala proporcional al tamaño de la fotografía, ya que se conocía el zoom con el que fue tomada la imagen.

Para las aletas pares se realizaron medidas de longitud y de ancho. El largo se estableció como la longitud máxima de la aleta incluyendo su yema, paralela al cuerpo del individuo; mientras que el ancho se describió como la distancia máxima entre los límites de la aleta tomada perpendicularmente al cuerpo (Snyder, 2002) (Figura 4).

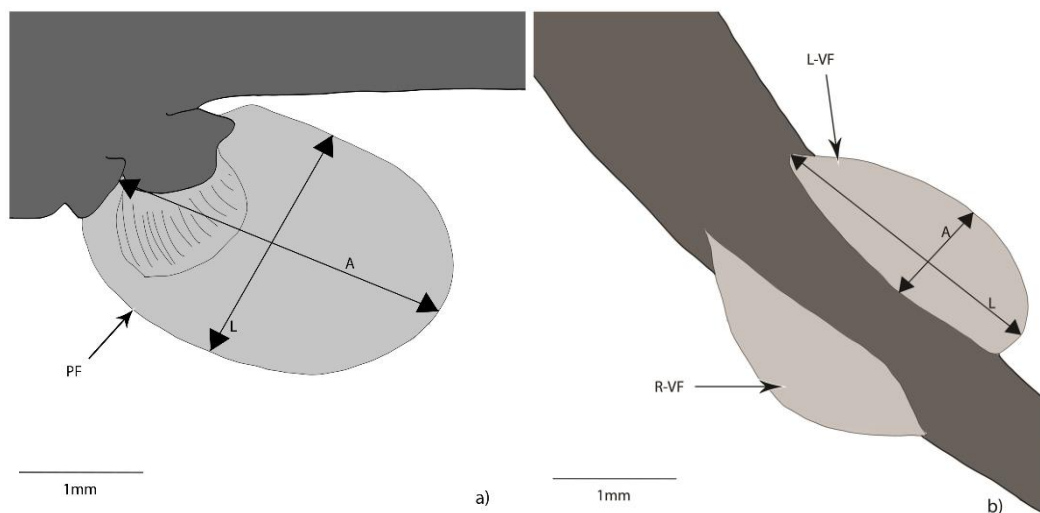


Figura 4. Ilustración usada como patrón para las medidas de las aletas pares: Ancho (A) y Largo (L)
a) Aleta pectoral (PF) y b) Aletas ventrales (VF). Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la aleta dorsal, se tomaron medidas de su longitud (desde donde nace la aleta hasta su nueva inserción). Las fotografías laterales permitieron tomar la medida de su altura, de forma perpendicular al tronco del pez (Figura 5)

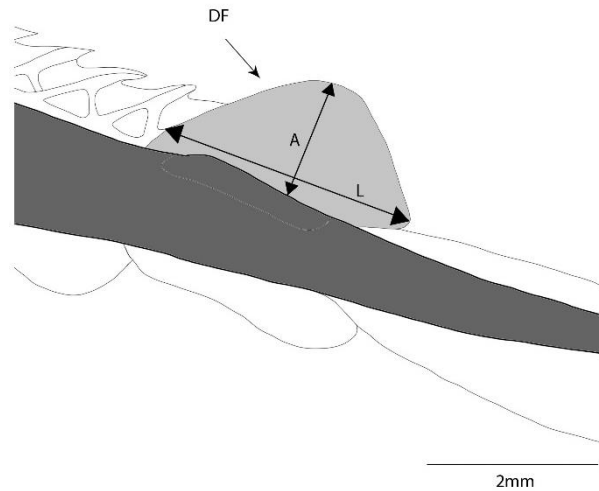


Figura 5. Representación gráfica de la toma de medidas para la aleta dorsal (**DF**) desde una vista lateral. (**A**) Ancho; (**L**) Largo. Fuente: Elaboración propia

De la aleta caudal, figura 6, se tomaron medidas de su longitud desde su nacimiento hasta el extremo posterior de la misma. En caso de fotografías laterales se realizaron medidas de la anchura del lóbulo superior y del lóbulo inferior, ambos tomados perpendiculares al eje de la caudal.

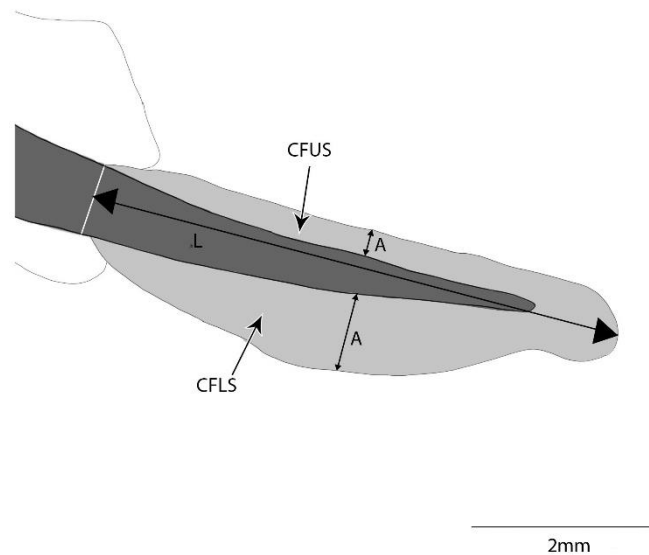


Figura 6. Diseño de la aleta caudal (**CF**) vista desde el flanco izquierdo ilustrando las medidas tomadas (**L**) Largo de la aleta y (**A**) Ancho del Lóbulo superior de la aleta caudal (**CFUS**) e inferior (**CFLS**). Fuente: elaboración propia.

Se midió, además, la longitud total de cada individuo, cuando fue posible, de forma seccionada si se encontraba flexionado o estaba dividido en varias fotografías.

2.4. Tratamiento de datos

Los datos obtenidos a través del software ImageJ fueron recopilados en Microsoft Excel. A partir de aquí, se llevó a cabo un estudio de las posibles relaciones en el crecimiento de las aletas esenciales para su desarrollo. Para ello, se establecieron las relaciones lineales entre las medidas de ancho y largo de las aletas (mm) (para las aletas pares y dorsal), así como la relación de cada uno de estos parámetros con la **LT** (mm) de los individuos y su edad (en **HPH**). Para la aleta caudal se relacionó de forma lineal, su longitud y las dimensiones de sus lóbulos (mm) con su edad (**HPH**) y **LT** (mm).

Con ese fin, nos apoyamos en un ajuste lineal suponiendo que el crecimiento de las aletas es proporcionado y seguiría la ecuación:

$$Y = a \times X + b$$

Establecimos al mismo tiempo modelos para las medidas tomadas en imágenes de vista ventral y dorsal para poder comparar su ajuste y poder establecer una preferencia para la toma de fotografías.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las dos muestras analizadas, para la muestra 1 se midieron 41 individuos útiles para el estudio, de los cuales se pudo obtener medidas de su longitud total en 32 de ellos. Para la muestra 2 se contó con 73 individuos a estudiar: A todos se les midieron sus aletas, pero su longitud total sólo a tres. Esto se debió a la falta de fotografías que completaran un mismo individuo así como la dificultad a la hora de recomponer la imagen completa debido a su ángulo o a mostrarse borrosa. Se detectó algunos ejemplares con aletas en mal estado por infección de *Saprolegnia* o por estar gravemente desgarradas, lo cual impidió la medición de las mismas en dichos individuos y fueron descartadas.

Para determinar el crecimiento de las aletas a lo largo del tiempo se utilizó la

medida de horas post eclosión (**HPH**) para facilitar la comparación con otros estudios.

Todo este proceso culminó en la creación de un protocolo metodológico para optimizar la toma de medias de aletas en *Acipenser naccarii* (ANEXO I) que se presentó en formato póster al Simposio de Alumnos de Ciencias del Mar y Ambientales (SACMA 2018). Además, se pretende que este protocolo pueda ser extrapolable a otros Acipenséridos.

3.1. Aleta Caudal

Embrión de vida libre

Cuando los embriones eclosionan la aleta caudal tiene una distribución protocerca, donde una membrana embrionaria se extiende entorno a la notocorda (futura columna vertebral), (Figura 7a). En este estadio todas aletas medias, así como las ventrales están indiferenciadas, es decir, se encuentran unidas integrando una misma membrana, aunque la aparición de la cloaca establece una escotadura (**ESC**) entre la posición que ocuparan la aleta anal (**AF**) y preanal (**Pref**). En un primer momento la amplitud de dicha membrana a cada lado de la notocorda es idéntica (Figura 7a). A los pocos días de la eclosión la cola se orienta ligeramente hacia arriba, lo cual hace que el lóbulo de la membrana superior (**CFUS**) sea ligeramente más pequeño que el de la parte inferior (**CFLS**) (Figura 7b). Comienza a apreciarse una primera diferenciación de la aleta dorsal (**DF**), junto con la escotadura de la membrana en la cloaca lo que hace que la aleta caudal quede ligeramente diferenciada del resto de la membrana. Una semana tras la eclosión (~168 **HPH**) el extremo posterior de la cola (**CF**) aparece ligeramente orientado hacia abajo (Cabrera, 2009) y el lóbulo inferior se ensancha, dándole la forma heterocerca que se irá definiendo en el juvenil y mantendrá en el adulto (Figura 7c y d).

Juvenil

Las escotaduras (**ESC**) entorno a la aleta caudal (**CF**) se hacen más acusadas, separándola casi definitivamente de la anal (**AF**) y dorsal (**DF**) y continúa su desplazamiento hacia arriba así como su ápice sigue curvándose suavemente en dirección opuesta. La membrana dorsal de la aleta se reduce considerablemente, estilizando su silueta y acrecentando la separación entre caudal y dorsal (Figura 7c). A simple vista los radios empiezan a observarse. Entre la aleta dorsal y caudal, al quedar separadas por la absorción de la membrana intermedia quedan patentes los escudetes

dorsales entre ellas (Figura 7d).

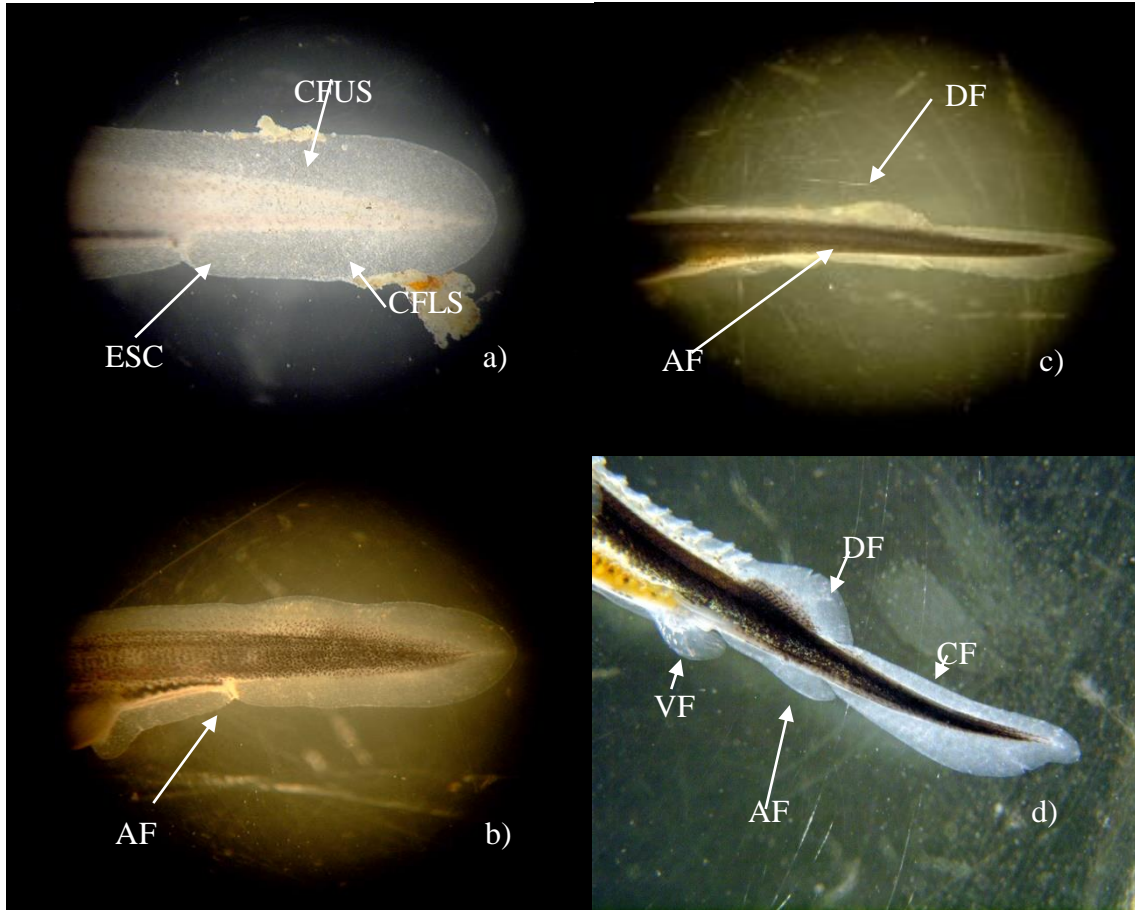


Figura 7. Secuencia de desarrollo de la aleta caudal (CF) y dorsal (DF)

Las relaciones para el crecimiento de la aleta caudal a lo largo del tiempo y respecto a la longitud total fueron las siguientes (Figuras 8a y 8b), observándose una relación moderada de la longitud de la aleta caudal a lo largo del tiempo [1] lo que podría sugerir un crecimiento lento de dicha aleta. Respecto a la longitud total el crecimiento de la aleta caudal mostró una relación baja [2].

$$L. \text{Caudal} = 0.046 \times HPH + 1.941 \quad R^2 = 0.5351 \quad [1]$$

$$L. \text{Caudal} = 0.2179 \times LT + 1.1548 \quad R^2 = 0.2868 \quad [2]$$

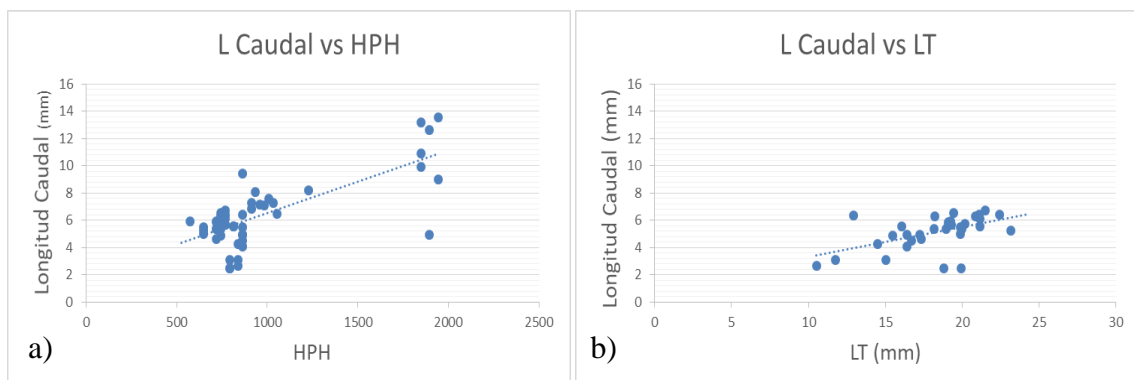


Figura 8. Modelos de longitud (L) de la aleta caudal (CF) frente a la edad (HPH) (a) y la longitud total (LT) (b)

Cuando se comparó el ancho de los lóbulos superiores de la aleta caudal a lo largo del tiempo [3] y con la longitud total [4] no se apreció relación entre dichas variables con unos coeficientes de determinación cercanos a cero (Figura 9).

$$A.CFUS = 10^{-5} \times HPH + 0.3024$$

$$R^2 = 0.0674 \quad [3]$$

$$A.CFUS = 0.0076 \times LT + 0.1541$$

$$R^2 = 0.0086 \quad [4]$$

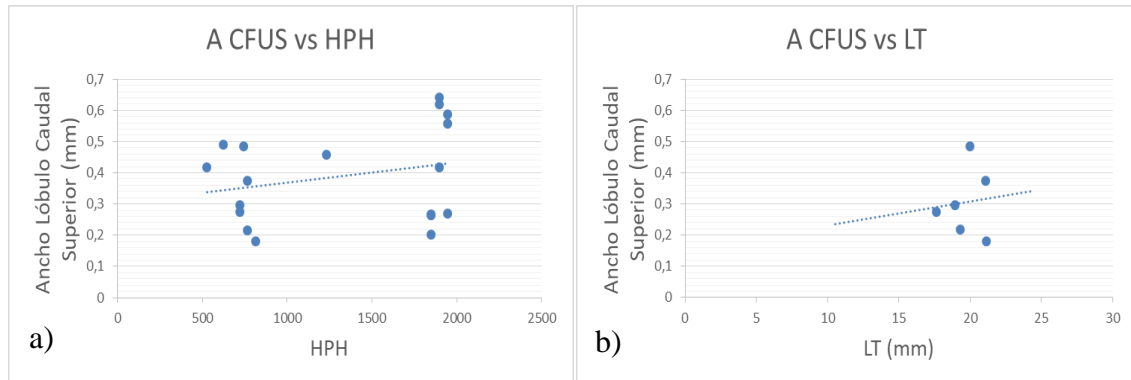


Figura 9. Comparación de las medidas del ancho (A) del lóbulo superior de la aleta caudal (CFUS) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b)

Al comparar las medidas de la anchura del lóbulo inferior a lo largo del tiempo y con la longitud total se obtuvo una relación baja tendiendo a moderada con la primera [5] y una relación mayor con la longitud total [6], (Figura 10a). A diferencia del lóbulo superior, el lóbulo inferior va aumentando su tamaño conforme el juvenil va creciendo de ahí que la relación sea más marcada (Figura 10b).

$$A.CFLS = 0.0009 \times HPH + 0.2076$$

$$R^2 = 0.3391 \quad [5]$$

$$A.CFLS = -0.1847 \times LT + 4.428$$

$$R^2 = 0.5933 \quad [6]$$

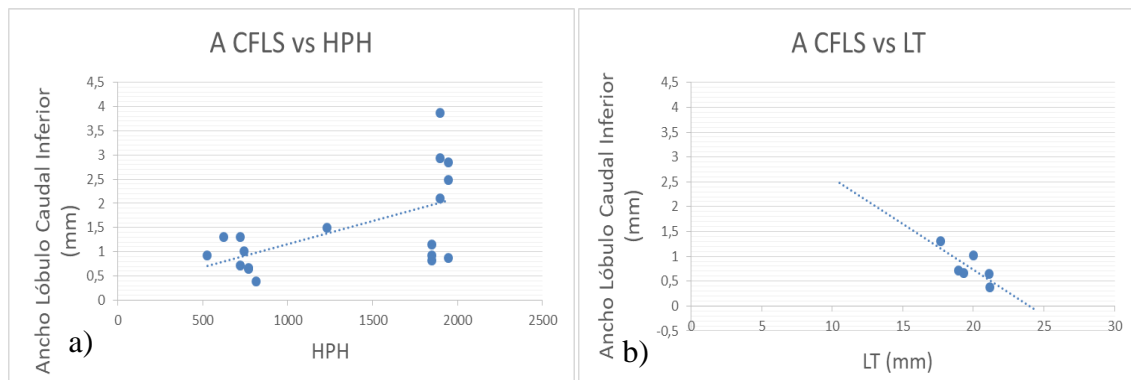


Figura 10. Comparación de las medidas del ancho (A) del lóbulo inferior de la aleta caudal (CFLS) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b)

La relación entre la anchura del lóbulo inferior de la aleta caudal (**A. CFLS**) frente a la longitud total del individuo (**LT**) (Figura 10b) muestra una tendencia decreciente. Esto está en concordancia con lo expuesto anteriormente y demuestra la evidente transformación de la aleta caudal de este animal, pasando de una silueta protocerca a otra heterocerca.

En las fotografías estudiadas se aprecia como el extremo más posterior de la aleta caudal sufre un pequeño pliegue hacia la cara ventral, dándole un ligero aspecto de “anzuelo”. Ante esto Holčík y col., (1989) hacen alusión a que se trata de un carácter externo exclusivo de sus etapas más tempranas puesto que no está presente en su estadio adulto. Los mismos autores coinciden en que la formación de los primeros rudimentos de la aleta dorsal se da en una zona anterior a la cloaca.

3.2. Aleta Dorsal

Embrión de vida libre

Como las demás aletas medias y las ventrales (Zhang y col. 2012) la aleta dorsal (**DF**) tiene como origen una única membrana común que recorre el perímetro sagital del embrión, a excepción de la cabeza. La primera diferenciación entre la aleta dorsal y la caudal (**CF**) aparece entorno a los 3 y 4 días PH (~72 –96 **HPH**) destacando un ensanchamiento en la zona posterior de la membrana posterior a la proyección vertical de su cloaca que se hace cada vez más evidente conforme pasa el tiempo hasta que aparece una escotadura (**ESC**) entre ambas aletas y comienzan a separarse. Finalizando el periodo de embrión de vida libre la membrana en el área anterior del embrión se estrecha con la aparición de los primeros indicios de los escudetes dorsales (Figura 7b)

Juvenil

Los escudetes se acrecientan y sobrepasan la membrana dorsal, resaltando la posición de la aleta dorsal. La forma de la aleta se acentúa y la escotadura con la caudal (**CF**) es aún más notable. Entorno a los escudetes la membrana empieza ser menos evidente a los 10 días PH y en tres semanas la aleta dorsal (**DF**) ha quedado separada de la aleta caudal. Los primeros radios constituyen un escudete (Figura 7c, 7d)

La comparación de las medidas del ancho de la aleta dorsal a lo largo del tiempo [7] y respecto a la longitud total [8] mostraron una relación inversa muy baja (Figura 11a y b)

$$A. Dorsal = -0.058 \times HPH + 5.4612 \quad R^2 = 0.2846 \quad [7]$$

$$A. Dorsal = -0.0197 \times LT + 1.4813 \quad R^2 = 0.0124 \quad [8]$$

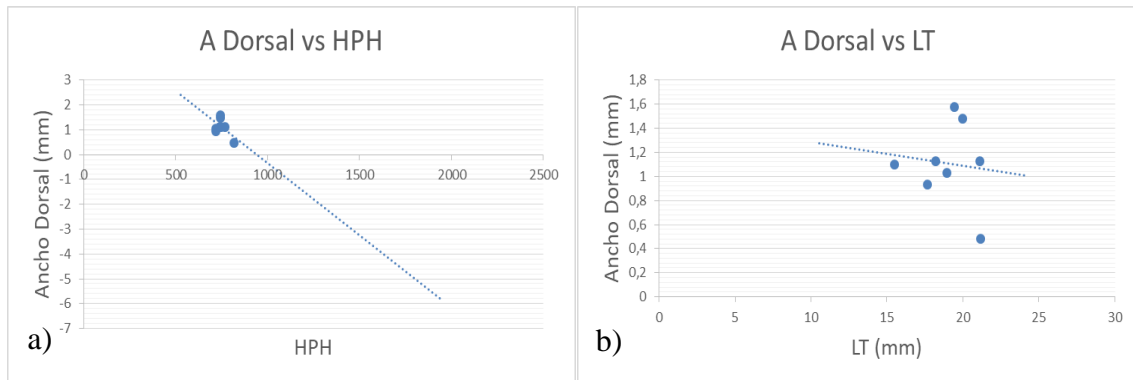


Figura 11. Modelos del ancho (A) de la aleta dorsal (DF) frente a la edad (HPH) (a) y la longitud total (LT) (b)

Sin embargo, la relación de la longitud de la aleta dorsal a lo largo del tiempo y respecto a la longitud total mostró una mayor relación con el tiempo [9] y moderada respecto a la longitud [10], (Figura 12). Esto indicaría que el crecimiento en estas etapas de la aleta se produce en proporción más a lo largo que a lo ancho siendo la relación entre el ancho y el largo de la aleta dorsal prácticamente nulo tal y como se muestra en la Figura 13. Aunque también esta tendencia negativa de las medidas de la aleta dorsal podría deberse a la escasez de datos para tener una muestra representativa.

$$L. Dorsal = 0.0024 \times HPH + 1.1169 \quad R^2 = 0.6149 \quad [9]$$

$$L. Dorsal = 0.1029 \times LT + 0.6846 \quad R^2 = 0.2566 \quad [10]$$

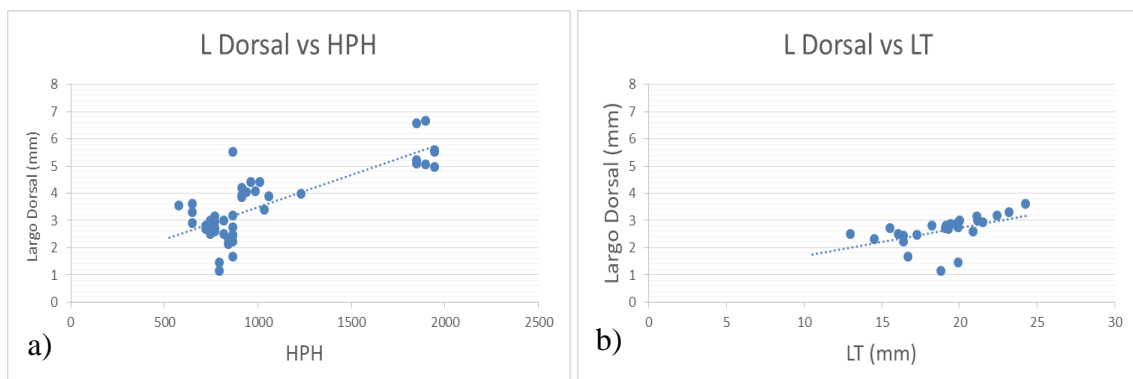


Figura 12. Comparación de las medidas de la longitud (L) de la aleta dorsal (DF) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b)

$$A.Dorsal = -0.6004 \times L.Dorsal + 2.8856 \quad R^2 = 0.0280 \quad [11]$$

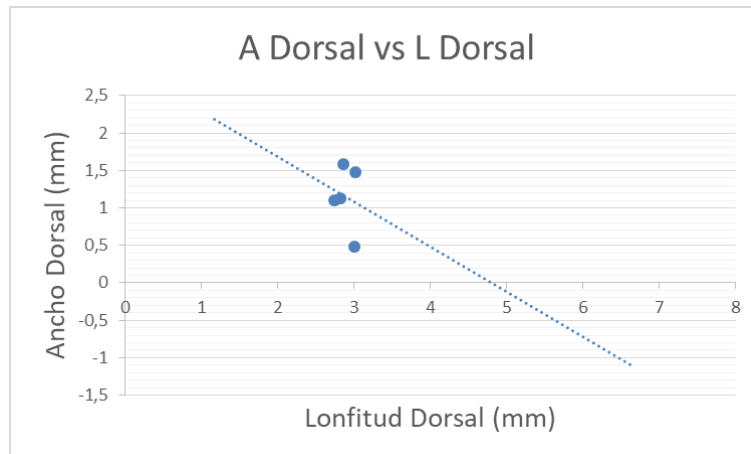


Figura 13. Relación entre ambas medidas, longitud (**L**) y ancho (**A**), para la aleta dorsal (**DF**)

3.3. Aletas pectorales

Para las aletas pares se han utilizado tanto las imágenes en vista dorsal, ventral como del conjunto de ambas para realizar los cálculos. Una vez obtenido el coeficiente de determinación (R^2) para cada modelo se escogió aquel con un resultado mayor en este coeficiente. Los valores más altos de los coeficientes fueron obtenidos con las vistas desde una posición ventral.

Embrión de vida libre

A diferencia de las demás aletas, los rudimentos de las aletas pectorales (**PF**) tienen su origen en las regiones laterales, situadas sobre el saco vitelínico, apenas visibles tras la eclosión pero haciéndose más patentes a medida que pasan los días. (Figura 14a). La yema de la aleta comienza a la altura de la línea media del plano sagital y conforme el saco vitelínico se va reabsorbiendo, su posición desciende sobre la zona lateral del embrión (Figura 14b). Conforme se expanden estas aletas su ángulo varía, situándose perpendiculares al cuerpo (Figura 14b y c).

Juvenil

En su estadio juvenil las aletas pectorales (**PF**) alcanzan una situación ventral, en estructura de abanico y tornándose redondeada. Desde sus yemas los radios se amplían hasta casi los extremos de la membrana y se hacen más notables a simple vista (Figura 14d). Su forma apenas se ve afectada con el crecimiento pero sus extremos posteriores se agudizan ligeramente.



Figura 14. Secuencia de desarrollo de las aletas pectorales (PF)

Se realizó la comparación de medidas de ancho y largo de las aletas a lo largo del tiempo y para la longitud total de forma independiente para cada pectoral.

3.3.1. Aleta Pectoral Izquierda (Vista ventral)

Tanto el ancho como el largo mostraron muy buenos ajustes a lo largo del tiempo (**HPH**) [12 y 14] lo que indica un crecimiento equilibrado de la aleta que explicaría la forma redondeada que toma en la fase juvenil (Figuras 15a y 16a) La relación del ancho y largo con la **LT** [13 y 15] fueron de moderadas a bajas (Figuras 15b y 16b)

$$A. Pectoral I. = 0,0036 \times HPH + 1.133 \quad R^2 = 0.8935 \quad [12]$$

$$A. Pectoral I. = 0.0652 \times LT + 0.3611 \quad R^2 = 0.3542 \quad [13]$$

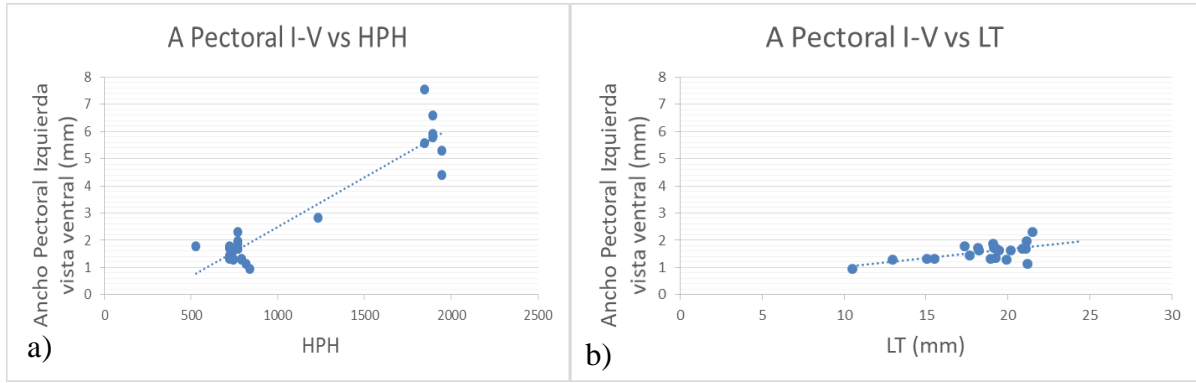


Figura 15. Comparación de las medidas de anchura (A) de la aleta pectoral izquierda (L-PF) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b) desde una vista ventral

$$L.Pectoral I. = 0,0053 \times HPH + 1.5144 \quad R^2 = 0.9400 \quad [14]$$

$$L.Pectoral I. = 0.0814 \times LT + 0.8983 \quad R^2 = 0.2798 \quad [15]$$

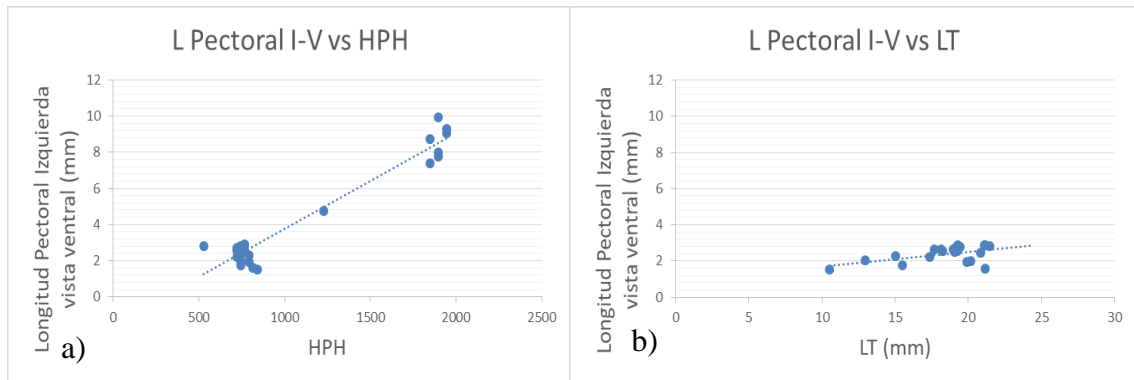


Figura 16. Comparación de las medidas de longitud (L) de la aleta pectoral izquierda (L-PF) frente a la edad (HPH) (a) y longitud total (LT) (b) desde una vista ventral

En cuanto a la relación entre la longitud y la anchura se observa un aceptable ajuste a la recta de regresión (Figura 17), [16] lo que indica un crecimiento proporcional de la aleta entre ambas medidas.

$$A.Pectoral I = 0.5080 \times L.Pectoral I + 0.3434 \quad R^2 = 0.5093 \quad [16]$$

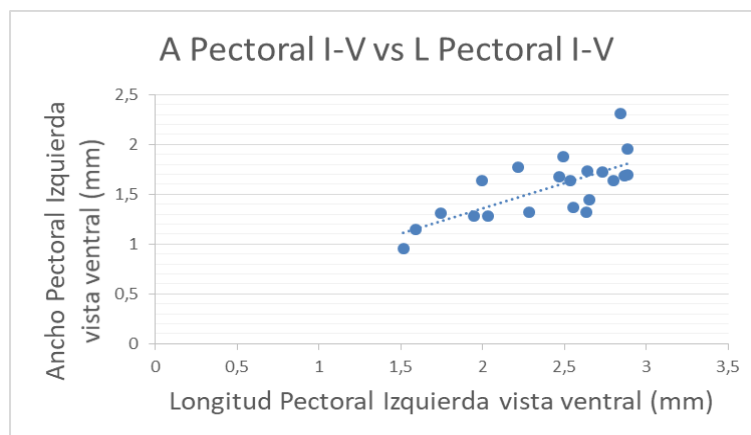


Figura 17. Relación entre ambas medidas, ancho (A) y longitud (L), para la aleta pectoral izquierda (L-PF) con vista ventral

3.3.2. Aleta Pectoral Derecha (Vista ventral)

En el caso de la aleta pectoral derecha la tendencia es similar a la anterior mostrando un relación muy alta tanto el crecimiento en anchura como en longitud de las aletas a lo largo del tiempo (Figuras 18a y 19a), [17 y 19] y siendo esta menor respecto a la **LT** (Figuras 18b y 19b), [18 y 20]. En este caso la relación entre el ancho y el largo aparece con una mayor relación que la aleta izquierda (Figura 20), [21].

$$A. \text{Pectoral D.} = 0,0034 \times HPH + 0.9082 \quad R^2 = 0.8732 \quad [17]$$

$$A. \text{Pectoral D.} = 0.0618 \times LT + 0.5016 \quad R^2 = 0.2288 \quad [18]$$

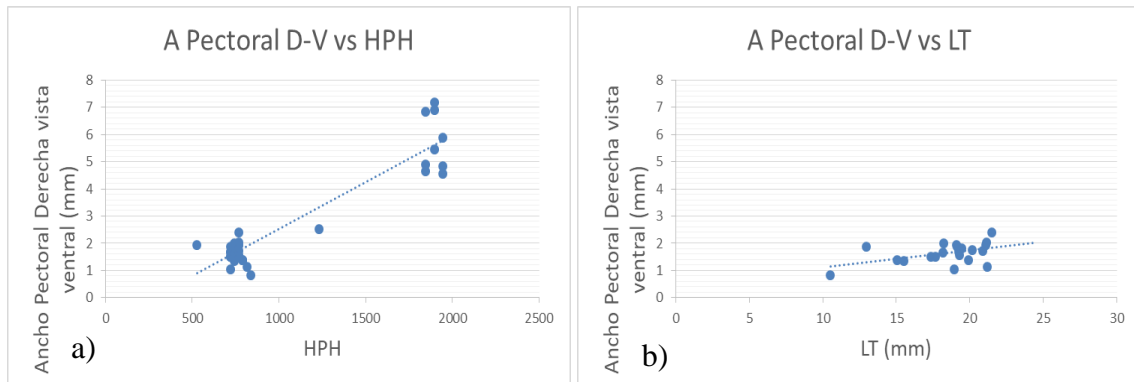


Figura 18. Comparación de las medidas de anchura (A) de la aleta pectoral derecha (**R-PF**) frente a la edad (**HPH**) (a) y longitud total (**LT**) (b) desde una vista ventral

$$L. \text{Pectoral D.} = 0,0047 \times HPH + 1.0696 \quad R^2 = 0.9152 \quad [19]$$

$$L. \text{Pectoral D.} = 0.0919 \times LT + 0.7335 \quad R^2 = 0.3425 \quad [20]$$

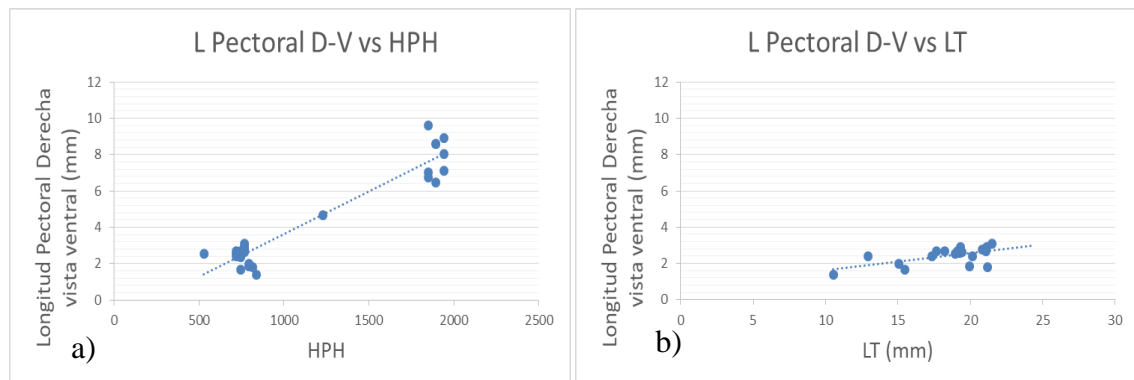


Figura 19. Comparación de las medidas de longitud (L) de la aleta pectoral derecha (**R-PF**) frente a la edad (**HPH**) (a) y longitud total (**LT**) (b), cara ventral

$$A. \text{Pectoral D} = 0.6321 \times L. \text{Pectoral D} + 0.0942 \quad R^2 = 0.6007 \quad [21]$$

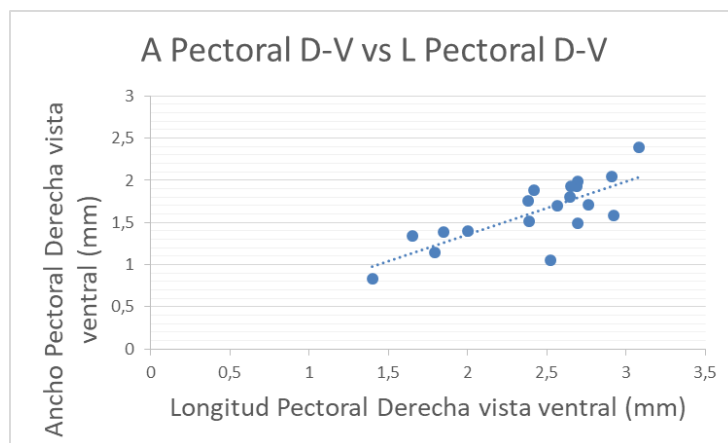


Figura 20. Relación entre ambas medidas, ancho (A) y longitud (L), para la aleta pectoral derecha (**R-PF**) con vista ventral

El origen de las aletas pectorales del *Acipenser naccarii* está en la zona del cuerpo que cubre el saco vitelínico por los costados. En *A. transmontanus* se ha descrito un desarrollo de las aletas pectorales similar, comenzando su desarrollo como un pequeño rudimento entorno a media altura del saco, para posteriormente crecer y desplazarse hacia la cara ventral (Davis y col., 2004).

Wilga y Lauder (1999) realizaron un estudio en *A. transmontanus* que pone sobre la mesa la razón por la que estas aletas se muestran paralelas al plano horizontal: con un análisis digital de velocimetría de imágenes de partículas (DPIV de sus siglas en inglés) llegaron a la conclusión que si esos acipenséridos nadasen impulsados por una corriente hacia delante sin usar su aleta caudal su cuerpo tendería a inclinarse hacia arriba, lo que viene a indicar que la posición y orientación de las aletas pectorales corrige la tendencia de la aleta caudal a orientar el cuerpo del esturión hacia el fondo. Esta tendencia a inclinarse hacia abajo viene dada por la forma heterocerca de la aleta. Al ejercer un mayor impulso con el lóbulo superior (tiene una mayor superficie) la tendencia general del movimiento será dirigida hacia el fondo.

La posición paralela al eje horizontal que presentan las aletas pectorales difiere de la situación más común en la mayoría de teleósteos, en los cuales se encuentran en sus flancos, paralelas a sus cuerpos y cuya función suele ser la de generar propulsión además de mantener la estabilidad del animal en un entorno tridimensional. Adriaens y col., (1993) realizaron un estudio a partir del esqueleto y musculatura del *Pomatoschistus lozanoi*, un pez de la familia Gobiidae y uno de los más abundantes de las costas europeas (Adriaens y col., 1993; Hamerlynck y col., 1990). Estos autores demostraron que las aletas pectorales se sitúan paralelas al tronco del pez y que estas

son grandes, con forma de abanico y con una musculatura muy desarrollada, lo que da lugar a que la función de estas aletas sea la de impulsar al gobio con pocos aleteos, pero potentes.

3.4. Aletas ventrales

Embrión de vida libre

Los primeros indicios de estas aletas aparecen al poco de eclosionar, originándose en la membrana de la aleta preanal (**PreF**) como si se tratara de una única aleta media (Figura 21b), justo en la zona anterior a la futura cloaca. Se escinden de la aleta preanal, reduciéndose la superficie de esta (figura 21c). A la par que las demás, las aletas ventrales (**VF**) se desarrollan en tamaño y van tomando la morfología de su forma final. Al concluir este estadio la aleta preanal aparece como una membrana menos perceptible y fina.

Juvenil

Con la aparición de los radios la silueta de las aletas pelvianas (**VF**) se muestra menos redondeada, acusando su ángulo y asemejándose a una menor versión de su etapa adulta. Su distancia al tronco se amplía y muestran una situación paralela al eje horizontal. Cuando los ejemplares tienen entre uno y dos meses de edad las puntas de estas aletas terminan en punta y los radios se extienden aún más (Figura 21d). La aleta preanal (**PreF**) en posteriores estadios es reabsorbida por el cuerpo (Cabrera, 2009).

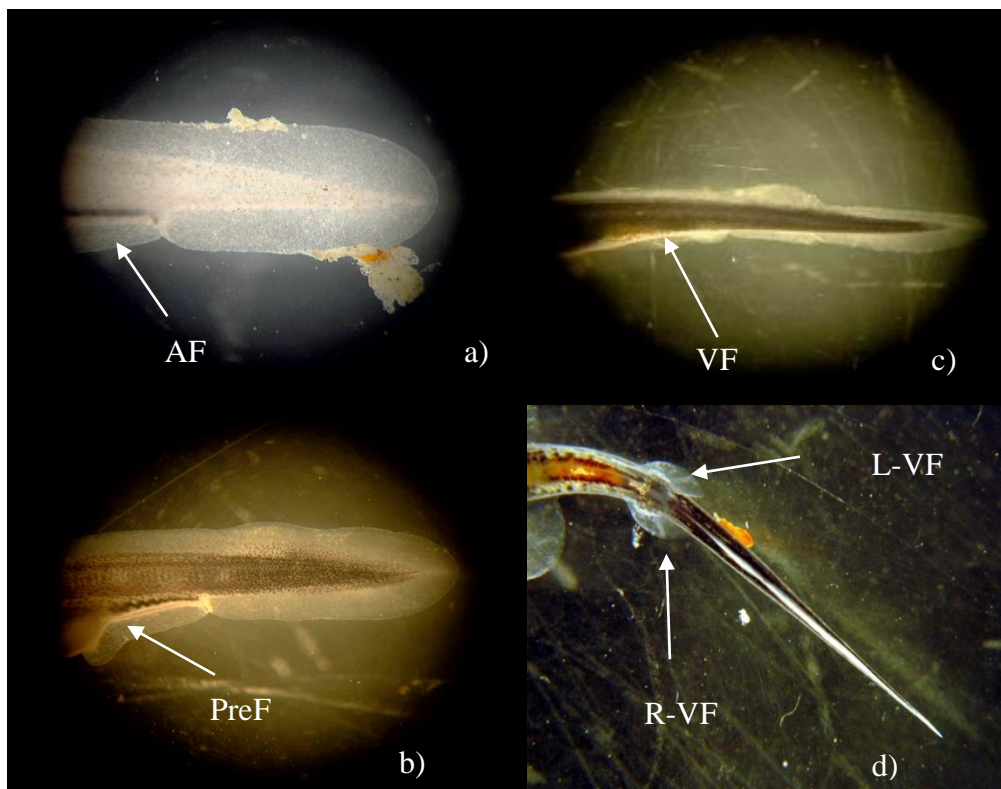


Figura 21. Secuencia de desarrollo de las aletas ventrales (**VF**)

3.4.1. Aleta Ventral Izquierda (Vista ventral)

La relación entre el ancho y largo frente a su edad (**HPH**) [22 y 24] aparece con pendiente negativa (Figura 22a y 23a) y un mal ajuste a diferencia de los modelos con la longitud total (**LT**) [23 y 25], (Figuras 22b y 23b). Al comparar ambos parámetros se correlacionan de forma moderada (Figura 24), [26].

$$A.Ventral\ I. = -0.0013 \times HPH + 1.5302 \quad R^2 = 0.0953 \quad [22]$$

$$A.Ventral\ I. = 0.0254 \times LT + 0.0726 \quad R^2 = 0.3657 \quad [23]$$

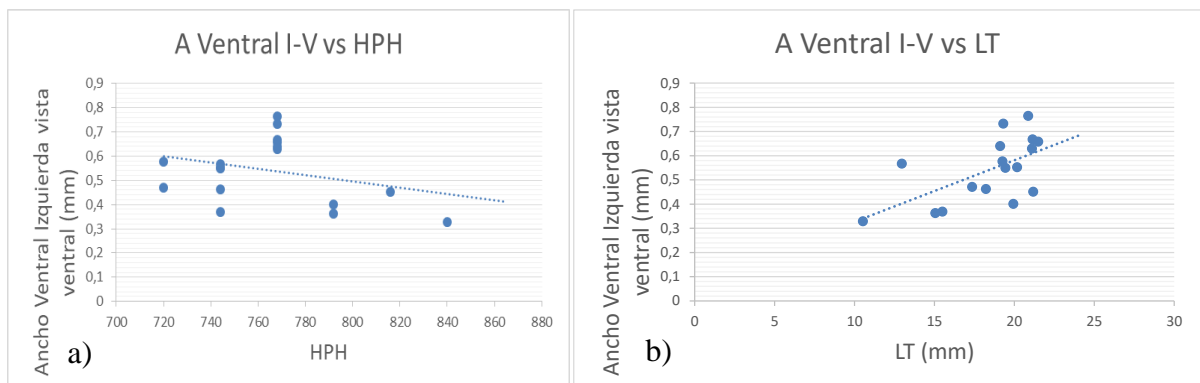


Figura 22. Comparación de las medidas de anchura (**A**) de la aleta ventral izquierda (**L-VF**) frente a la edad (**HPH**) (a) y longitud total (**LT**) (b) desde una vista ventral

$$L.Ventral\ I. = -0.0116 \times HPH + 10.609 \quad R^2 = 0.6808 \quad [24]$$

$$L.Ventral\ I. = 0.0519 \times LT + 0.8130 \quad R^2 = 0.1368 \quad [25]$$

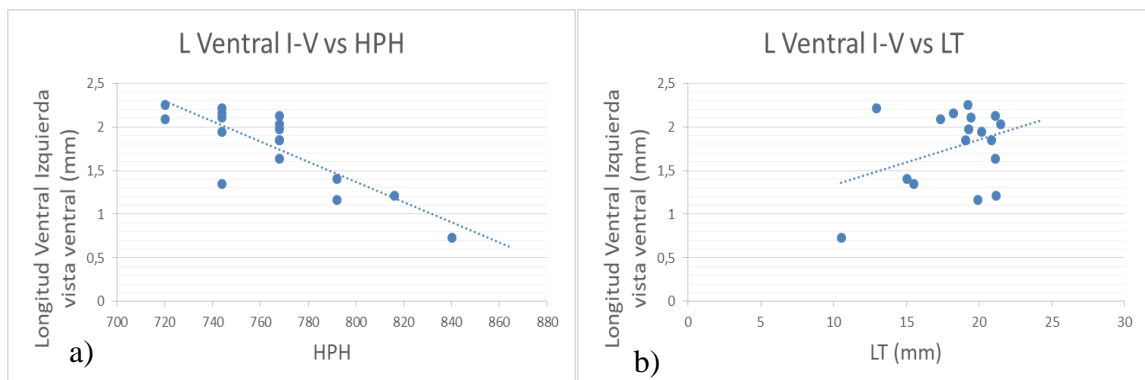


Figura 23. Comparación de las medidas de longitud (**L**) de la aleta ventral izquierda (**L-VF**) frente a la edad (**HPH**) (a) y longitud total (**LT**) (b) desde una vista ventral

$$A.Ventral I = 0.1913 \times L.Ventral I + 0.2018 \quad R^2 = 0.4082 \quad [26]$$

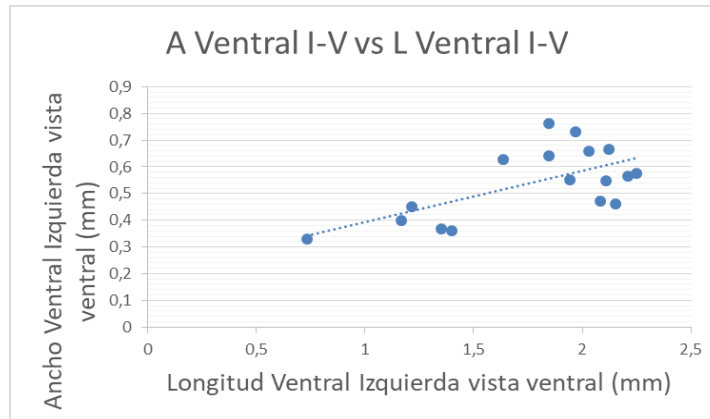


Figura 24. Relación entre ambas medidas, ancho (A) y longitud (L), para la aleta ventral izquierda (L-VF) con vista ventral

3.4.2. Aleta Ventral Derecha (Vista ventral)

Al comparar el resultado de la relación establecida entre las medidas del ancho y de la longitud frente a las **HPH** (Figuras 25a y 26a), [27 y 29] vemos que, de forma homóloga a como sucede en la aleta ventral izquierda (**L-VF**) hay un bajo ajuste al modelo lineal, con tendencia decreciente. Tanto la relación entre el ancho y largo con la longitud total (**LT**) (Figuras 25b y 26b), [28 y 30] como la relación entre ambas magnitudes (Figura 27), [31] muestran un aceptable ajuste a la ecuación.

$$A.Ventral D. = -0.0009 \times HPH + 1.184 \quad R^2 = 0.0651 \quad [27]$$

$$A.Ventral D. = 0.0210 \times LT + 0.1273 \quad R^2 = 0.4193 \quad [28]$$

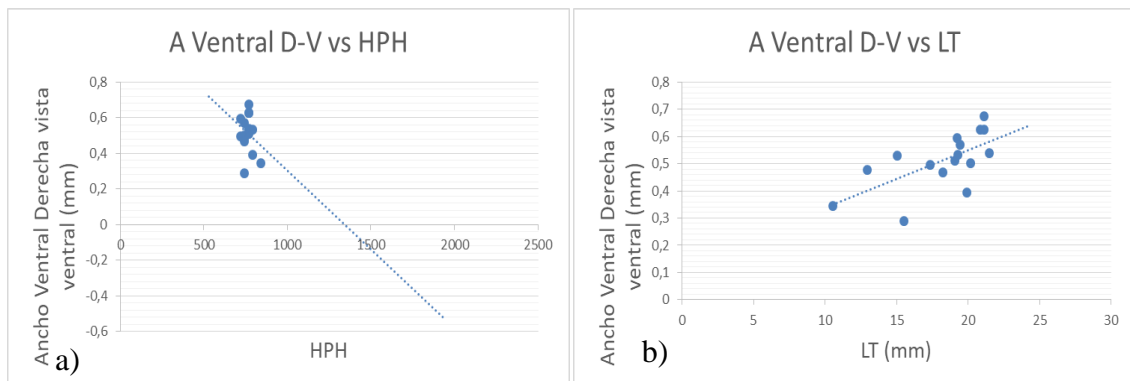


Figura 25. Comparación de las medidas de anchura (A) de la aleta ventral derecha (**R-VF**) frente a la edad (**HPH**) (a) y longitud total (**LT**) (b) desde una vista ventral

$$L.Ventral D. = -0.0082 \times HPH + 7,9529 \quad R^2 = 0,4169 \quad [29]$$

$$L.Ventral D. = 0.0641 \times LT + 0.4970 \quad R^2 = 0.2531 \quad [30]$$

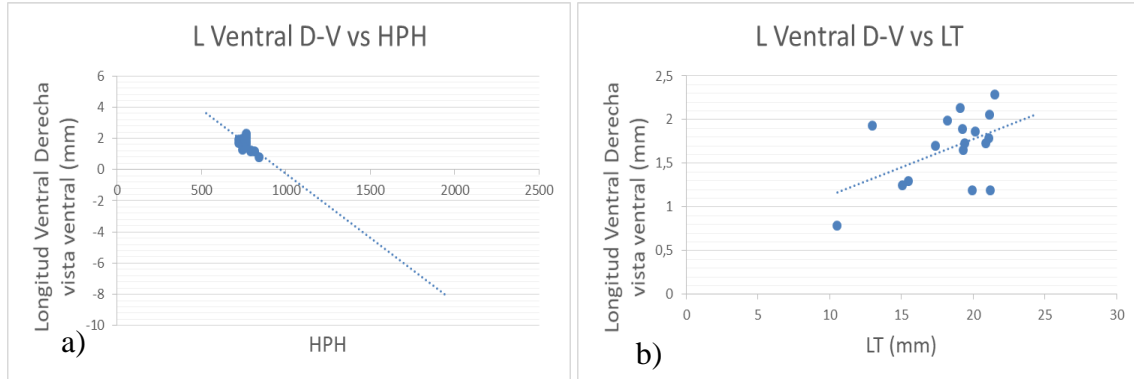


Figura 26. Comparación de las medidas de longitud (**L**) de la aleta ventral derecha (**R-VF**) frente a la edad (**HPH**) (a) y longitud total (**LT**) (b) desde una vista ventral

$$A.Ventral D = 0.1546 \times L.Ventral D + 0.2466 \quad R^2 = 0.3502 \quad [31]$$

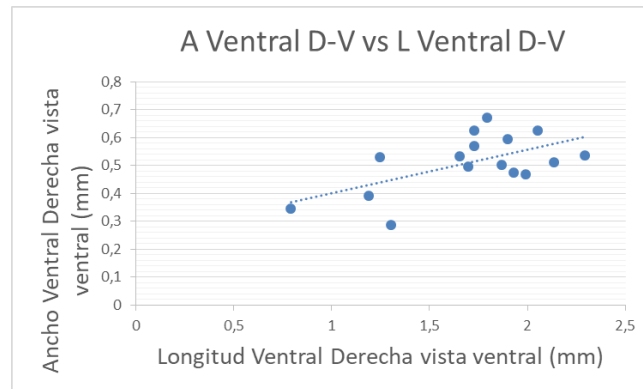


Figura 27. Relación entre ambas medidas, ancho (**A**) y longitud (**L**), para la aleta ventral derecha (**R-VF**) con vista ventral

Teniendo en cuenta los valores de R^2 para las aletas pelvianas (**VF**) [22, 25, 27, 30 y 31] vemos que el ajuste al modelo es menor respecto a los ajustes mostrados para las aletas pectorales, caudal o dorsal. *A priori* puede deberse a que el crecimiento de estas aletas no esté intrínsecamente relacionado de forma lineal con el tamaño total del individuo en esta etapa de su desarrollo. No obstante, existe otro factor a tener en cuenta: las imágenes de aletas dorsales, caudales o pectorales pueden ser medidas sin mayor inconvenientes al ser paralelas tanto al plano sagital como al plano coronal, pero las aletas ventrales se muestran inclinadas en torno a 30° respecto del eje del cuerpo. De

manera que a la hora de realizar una medida sobre una imagen plana de un objeto en perspectiva de lugar a error, siendo este mayor en función del ángulo con respecto al objetivo de la cámara. Aun así, este error cometido es menor en las fotografías obtenidas de la cara ventral de los individuos ya que la aleta puede ser observada al completo, como se ha comentado anteriormente. Esto da una representación más cercana a las dimensiones reales de estas aletas.

De igual forma se aprecia que a medida que el individuo crece las medidas de aletas pelvianas no solo no aumentan en dimensiones sino que, por el contrario, parecen disminuir (Ver figuras 22a, 23a, 25a y 26a). Este suceso podría deberse de nuevo a un error originado por el ángulo que presentan las aletas ventrales, el cual se acrecienta con la edad del individuo. Además, sumado a este hecho, la escasez de datos de medidas de estas aletas da lugar a que el margen de error se amplíe.

Swertsoff, 1925 recrea el desarrollo de las aletas pélvicas en el esturión *sterlet*, *Acipenser ruhtenus*, en su estadio de embrión de vida libre y juvenil donde como ocurre como en el caso del *A. naccarii* sus aletas ventrales tienen un origen común en la línea media del pez y su evolución morfológica es similar, pasando de una forma ovalada y roma a una característica forma lanceolada.

La presencia de estos cambios en las medidas y aletas en los peces se debe a como cita Holčík y col., (1989): “el periodo juvenil comienza con la formación del fenotipo definitivo”, dando la forma final a las aletas en esta etapa, así como a los demás órganos y caracteres.

En su mayoría las medidas provenientes de imágenes de vista ventral son más aptas para el estudio, presentando en la mayoría de los casos mejores ajustes. Esto puede deberse al hecho de que las aletas vistas desde una posición superior quedan parcialmente cubiertas por el cuerpo, mientras que cuando son vistas desde debajo su visibilidad es completa. Por este motivo son los modelos utilizados para el cuerpo del estudio. Aun así los demás modelos fueron también calculados y se obtuvieron sus respectivos coeficientes de determinación (Anexo II).

Con todo esto los resultados muestran de forma general como el desarrollo de las aletas presentan una fuerte relación directa con el crecimiento del individuo, algo lógico en el desarrollo normal de los seres vivos.

Este análisis junto con el protocolo propuesto podría considerarse como base para la realización de medidas de aletas en Acipenséridos. Además, las medidas de aletas son un factor a tener en cuenta en la acuicultura para determinar la especie (Holčík y col., 1989), la edad o estadio de los individuos, así como otros cambios y caracteres de su edad temprana, que permiten interpretar su futura forma y velocidad de nadar, técnicas de alimentación y sus hábitos como se ha estudiado en otros peces (Koumoundouros y col., 2001)

4. CONCLUSIONES

- Tanto la forma como la proporción de las aletas varían a lo largo del desarrollo temprano del *A. naccarii*.
- El crecimiento de las aletas es linealmente dependiente del tamaño y edad del individuo, a excepción del tamaño del lóbulo caudal inferior que decrece con la edad en los juveniles, ya que es cuando se define la forma heterocerca de la aleta caudal.
- Las aletas ventrales varían su ángulo a medida que el individuo juvenil crece hasta alcanzar su posición final.
- A la hora de realizar un estudio de medidas de aletas a partir de fotografías es más óptimo elegir las imágenes desde la cara ventral del animal.
- Se ha creado un protocolo metodológico para la optimización de la toma de medidas de aletas en juveniles del esturión del Adriático, y extrapolable a otros Acipenséridos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acipenser naccarii* summary page. (2018). Retrieved from <https://www.fishbase.de/summary/Acipenser-naccarii.html>
- Adriaens, D., Decleyre, D., & Verraes, W. (1993). Morphology of the Pectoral Girdle in *Pomatoschistus lozanoi* de Buen, 1923 (Gobiidae), in relation to Pectoral Fin Adduction. *The Belgian Journal Of Zoology*, 123(2), 135-157.
- Agradi, E., Abrami, G., Serrini, G., McKenzie, D., Bolis, C. & Bronzi, P. (1993). The role of dietary n-3 fatty acid and vitamin E supplements in growth of sturgeon (*Acipenser naccarii*). *Comparative Biochemistry and Physiology A* 105, 187-195.
- Arlati, G., Belysheva, L., & Kaidanova, T. (1995). Karyological analysis of *Acipenser naccarii* (Bonaparte). *Proc. International Sturgeon Symposium*, 119-123.
- Balon, E.K. (1975). Terminology of intervals in fish development. *Journal of Fish Research Board of Canada* 32, 1663-1670. doi.org/10.1139/f75-196
- Boglione, C., Bronzi, P., Cataldi, E., Serra, S., Gagliardi, F. & Cataudella, S. (1999). Aspects of early development in the Adriatic sturgeon, *Acipenser naccarii*. *Journal of Applied Ichthyology* 15, 207-213.
- Boglione, C., Cataldi, E., Sighicelli, M., Bronzi, P. & Cataudella, S. (2006). Contribution to the trophic ecology of the Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii*: morphological observations on mouth and head sensorial equipment. *Journal of Applied Ichthyology* 22, 208-212.
- Bronzi, P., Vecsei, P., & Arlati, G. (2005). Threatened fishes of the world: *Acipenser naccarii* Bonaparte, 1836 (acipenseridae). *Environmental Biology Of Fishes*, 72(66).
- Bronzi, P., Rosenthal, H., & Gessner, J. (2011). Global sturgeon aquaculture production: an overview. *Applied Ichthyology*, 27, 169-175.
- Cabrera, R. (2009). DESARROLLO ONTOGÉNICO DE *Acipenser naccarii*, (Bonaparte, 1836). POSIBLE APLICACIÓN EN ACUICULTURA. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. 225 pp.
- Cabrera, R., Soriguer, M., Domenzain, A., & Hernando, J. (2015). Embryonic development of Adriatic sturgeon, *Acipenser naccarii* (Bonaparte 1836), in farming conditions: a guide. *Acta Zoologica*. doi: 10.1111/azo.12127
- Cabrera-Castro, R., Zabala, C., Soriguer, M., Domezain, A., & Hernando, J. (2018). Morphological development in the first life phase of Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* under controlled conditions. *Journal Of Fish Biology*, 92, 1956-1974. doi: 10.1111/jfb.13630
- Camacho, S., Ostos, M. V., Llorente, J. I., Sanz, A., Garcia, M., Domezain, A. & Carmona, R. (2007). Structural characteristics and development of ampullary organs in *A. naccarii*. *The Anatomical Record* 290, 1178-1189.
- Carmona, R., García Gallego, M., Sanz, A., Domezain, A. & Ostos-Garrido,

- M. V. (2004). Chloride cells and pavement cells in gill epithelia of *Acipenser naccarii*: ultrastructural modifications in seawater-acclimated specimens. *Journal of Fish Biology* 64, 553–556.
- Cataldi, E., Ciccotti, E., Di Marco, P., Di Santo, O., Bronzi, P. & Cataudella, S. (1995). Acclimation trials of juvenile Italian sturgeon to different salinities: morphophysiological descriptors. *Journal of Fish Biology* 47, 609–618.
- Cataldi, E., Barzaghi, C., Di Marco, P., Boglione, C., Dini, L., McKenzie, D. J., Bronzi, P. & Cataudella, S. (1999). Some aspects of osmotic and ionic regulation in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii*. In: ontogenesis of salinity tolerance. *Journal of Applied Ichthyology* 15, 57–60.
- Cataldi, E., Albano, C., Boglione, C., Dini, L., Monaco, G., Bonzi, P., & Cataudella, S. (2002). *Acipenser naccarii*: fine structure of the alimentary canal with references to its ontogenesis. *Journal Of Applied Ichthyology*, 18, 329-337.
- Davis, M., Shubin, N., & Force, A. (2004). Pectoral Fin and Girdle Development in the Basal Actinopterygians *Polyodon spathula* and *Acipenser transmontanus*. *Journal Of Morphology*, 262, 608-628.
- Domezain, A., Soriguer, M., Domezain, J., & Hernando, J. (2003). In: Memoriam al Prof. Dr. Isidoro Ruiz Martínez (pp. 329-349). Jaén: Jesús M. Pérez Jiménez.
- FAO Fisheries & Aquaculture - Aquatic species. (2018). Retrieved from <http://www.fao.org/fishery/species/10183/en>
- Furné, M., García-Gallego, M., Hidalgo, M. C., Morales, A. E., Domezain, A., Domezain, J. & Sanz, A. (2008a). Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in sturgeon (*Acipenser naccarii*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochememistry and Physiology A* 149, 420–425.
- Furné, M., García-Gallego, M., Hidalgo, M. C., Morales, A. E., Domezain, A., Domezain, J. & Sanz, A. (2008b). Oxidative stress parameters during starvation and refeeding periods in Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* 15, 587–595.
- Gómez, A., Durán, E., Ocaña, F. M., Jiménez-Moya, F., Broglio, C., Domezain, A., Salas, C. & Rodriguez, F. (2009). Observations on the brain development of the sturgeon *Acipenser naccarii*. *Fish & Fisheries* 29, 155–173.
- Grandi, G. & Chicca, M. (2004). Early development of the pituitary gland in *Acipenser naccarii* (Chondrostei, Acipenseriformes): an immunocytochemical study. *Anatomy and Embryology* 208, 311–321.
- Hernando, J., Arlati, G., Domezain, A., Soriguer, M., Poliakova-Belyseceva, L., & Domezain, J. et al. (1999). Morphometric study of *Acipenser naccarii* (Bonaparte, 1836) in fish farm individuals. *Journal Of Applied Ichthyology*, 15, 46-49.
- Holčík, J. (ed). (1989). *The Freshwater Fishes of Europe*. Aula-Verlag, Wiesbaden, 1/II. 469 pp.
- Holčík J., Banarescu P. & Evans D. (1989a). A. General Intruduction to Fishes. In: *The Freshwater Fishes of Europe*, Vol. 1, Part II, General

- Introduction to Fishes, Acipenseriformes, Holcik, J. (ed), AULA-Verlag, Wiesbaden, pp. 18-147.
- Icardo, J., Colvee, E., Cerra, M., & Tota, B. (2002). Structure of the Conus Artriosus of the Sturgeon (*Acipenser naccarii*) Heart. I: The Conus Valves and the Subendocardium. *The Anatomical Record*, 267, 17-27. doi: 10.1002/ar.10080
- Icardo, J., Guerrero, A., Durán, A., Domezain, A., Colvee, E., & Sans-Coma, V. (2004). The development of the sturgeon heart. *Journal Of Anatomy And Embryology*, 208, 439-449.
- Koumoundouros, G., Divanach, P., & Kentouri, M. (2001). Osteological development of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae): dorsal, anal, paired fins and squamation. *Marine Biology*, 138, 399-406.
- Loly, A., Bronzi, P., & Molteni, S. (1999). Geometric morphometrics in the characterisation of the cranial growth pattern of Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii*. *Journal Of Applied Ichthyology*, 15, 50-53.
- Martínez-Álvarez, R. M., Hidalgo, M. C., Domezain, A., Morales, A. E., García-Gallego, M. & Sanz, A. (2002). Physiological changes of sturgeon *Acipenser naccarii* caused by increasing environmental salinity. *Journal of Experimental Biology* 205, 3066–3079.
- Martínez-Álvarez, R. M., Sanz, A., García-Gallego, M., Domezain, A., Domezain, J., Carmona, R., Ostos-Garrido, M. V. & Morales, A. E. (2005). Adaptive branchial mechanisms in the sturgeon *Acipenser naccarii* during acclimation to salt water. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 141, 183–190.
- McKenzie, D. J., Cataldi, E., Di Marco, P., Mandlich, A., Romano, P., Ansferri, S., Bronzi, P. & Cataudella, S. (1999). Some aspects of osmotic and ionic regulation in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii*. II: morpho-physiological adjustments to hyperosmotic environments. *Journal of Applied Ichthyology* 15, 61–66.
- McKenzie, D. J., Cataldi, E., Romano, P., Owen, S. F., Taylor, E. W. & Bronzi, P. (2001a). Effects of acclimation to brackish water on the growth, respiratory metabolism and swimming performance of young-of-the-year Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58, 1104–1112.
- McKenzie, D. J., Cataldi, E., Romano, P., Taylor, E. W., Cataudella, S. & Bronzi, P. (2001b). Effects of acclimation to brackish water on tolerance of salinity challenge by young of-the-year Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58, 1113–1121.
- McKenzie, D., Cataldi, E., Romano, P., Owen, S., Taylor, E., & Bronzi, P. (2001c). Effects of acclimation to brackish water on the growth, respiratory metabolism, and swimming performance of young-of-the-year Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*). *Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences*, 58, 1104-1112.
- Rincón, P. (2000). Putative morphometric evidence of the presence of *Acipenser naccarii* Bonaparte, 1836 in Iberian rivers, or why ontogenetic allometry needs adequate treatment. *Boletín. Instituto Español De Oceanografía*, 16, 1-4.

- Sewertzoff, A. (2005). Development of the pelvic fins of *Acipenser ruthenus*. New data for the theory of the paired fins of fishes. *Journal Of Morphology*, 41(2), 547-579. (artículo original 1925)
- Sokolov L. & Berdicheveskiĭ L. (1989a). B. Systematic Part, Acipenseriformes. In: The Freshwater Fishes of Europe, Vol. 1, Part II, General Introduction to Fishes, Acipenseriformes, Holcik, J. (ed), AULA-Verlag, Wiesbaden, pp. 148-443.
- Soriguer, M., Domezain, A., Aragonés, J., Domezain, J., & Hernando, J. (2002). Feeding preference in juveniles of *Acipenser naccarii* Bonaparte 1836. *Journal Of Applied Ichthyology*, 18, 691-694.
- Trenzado, C., Hidalgo, M. C., García-Gallego, M., Morales, A. E., Furné, M., Domezain, A., Domezain, J. & Sanz, A. (2006). Antioxidant enzymes and lipid peroxidation levels in sturgeon *Acipenser naccarii* and trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study. *Aquaculture* 254, 758–767.
- Vázquez, M., Rodríguez, F., Domezain, A. & Salas, C. (2002). Development of the brain of the sturgeon *Acipenser naccarii*. *Journal of Applied Ichthyology* 18, 275–279.
- Whiteman, K., & Travnichek, V. (2004). Age Estimation for Shovelnose Sturgeon: A Cautionary Note Based on Annulus Formation in Pectoral Fin Rays. *North American Journal Of Fisheries Management*, 24, 731–734.
- Wilga, C., & Lauder, G. (1999). Locomotion in Sturgeon: Function of the Pectoral Fins. *The Journal Of Experimental Biology*, 202, 2413-2432.
- Williot, P., Rochard, E., Castlenaud, G., Rouault, T., Brun, R., Lapage, M., & Elie, P. (1997). Biological characteristics of European Atlantic sturgeon, *Acipenser sturio*, as the basis for a restoration program in France. *Enviromental Biology Of Fishes*, 48, 359-370.
- WoRMS - World Register of Marine Species - *Acipenser naccarii* Bonaparte, 1836. (2018). Retrieved from <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=126276>
- Zhang, X., Shimoda, K., Ura, K., Adachi, S., & Takagi, Y. (2012). Developmental structure of the vertebral column, fins, scutes and scales in bester sturgeon, a hybrid of beluga *Huso huso* and sterlet *Acipenser ruthenus*. *Journal Of Fish Biology*, 81, 1985-2004. doi: 10.1111/j.1095-8649.2012.03451.x

Anexos

CREACIÓN DE UN PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA OPTIMIZAR LA TOMA DE MEDIDAS DE ALETAS EN EL ESTURIÓN DEL ADRIÁTICO *Acipenser naccarii*

Raúl Marín Aragón¹ y Cabrera-Castro, Remedios^{1,2}

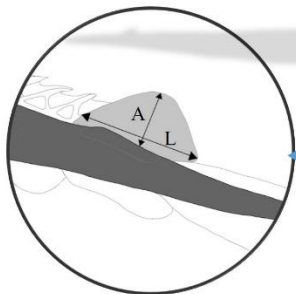
¹Área de Zoología; Departamento de Biología; Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz

²INMAR – Instituto de Investigaciones Marinas. Universidad de Cádiz

Adulto

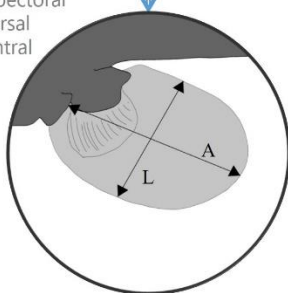
Dada su relevancia tanto a nivel comercial como en investigación, el estudio de los esturiones puede ayudarnos a comprender el desarrollo de algunas estructuras morfológicas como eslabones clave de la cadena evolutiva que son. Con la elaboración de un protocolo se pretende estandarizar la toma y análisis de medidas en las aletas del esturión *Acipenser naccarii*, si llegara a ser posible, poder extrapolar la técnica a otros peces.

A. Altura aleta dorsal
L. Longitud aleta dorsal



Aleta Dorsal

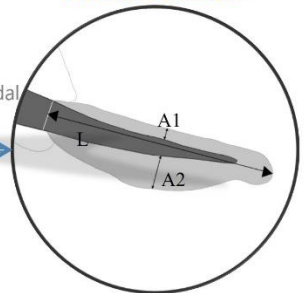
A. Ancho aleta pectoral
L. Longitud pectoral
D: dorsal
V: ventral



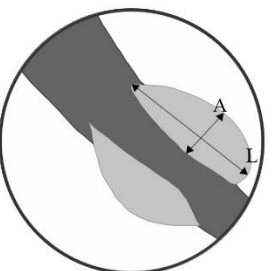
Aletas Pectorales

A1. Altura lóbulo superior
A2. Altura lóbulo inferior
L. Longitud en línea recta de la caudal

Aleta Caudal



A. Ancho lóbulo aleta ventral
L. Longitud lóbulo aleta ventral

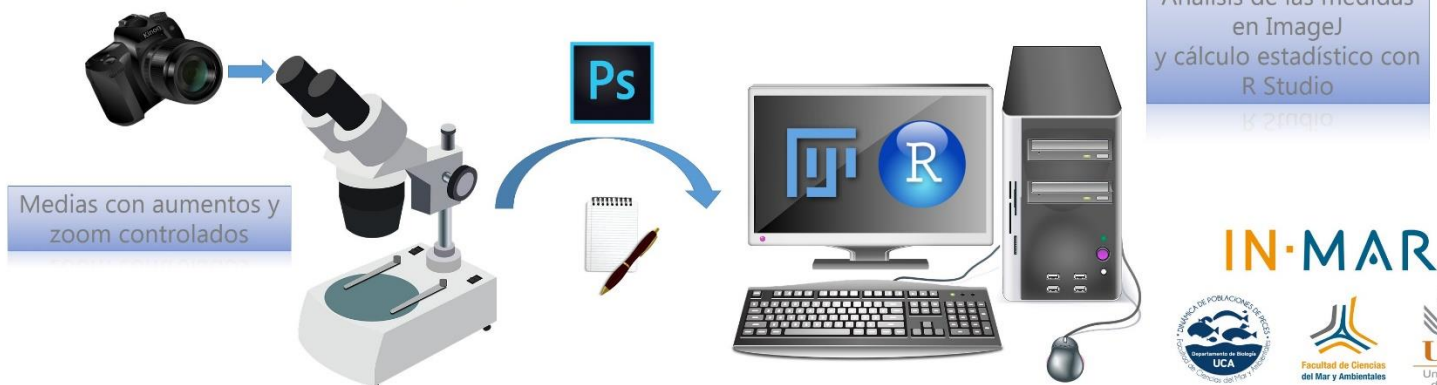


Aletas Ventrales

Juvenil

Embrión de vida libre

¿CÓMO LO HACEMOS?

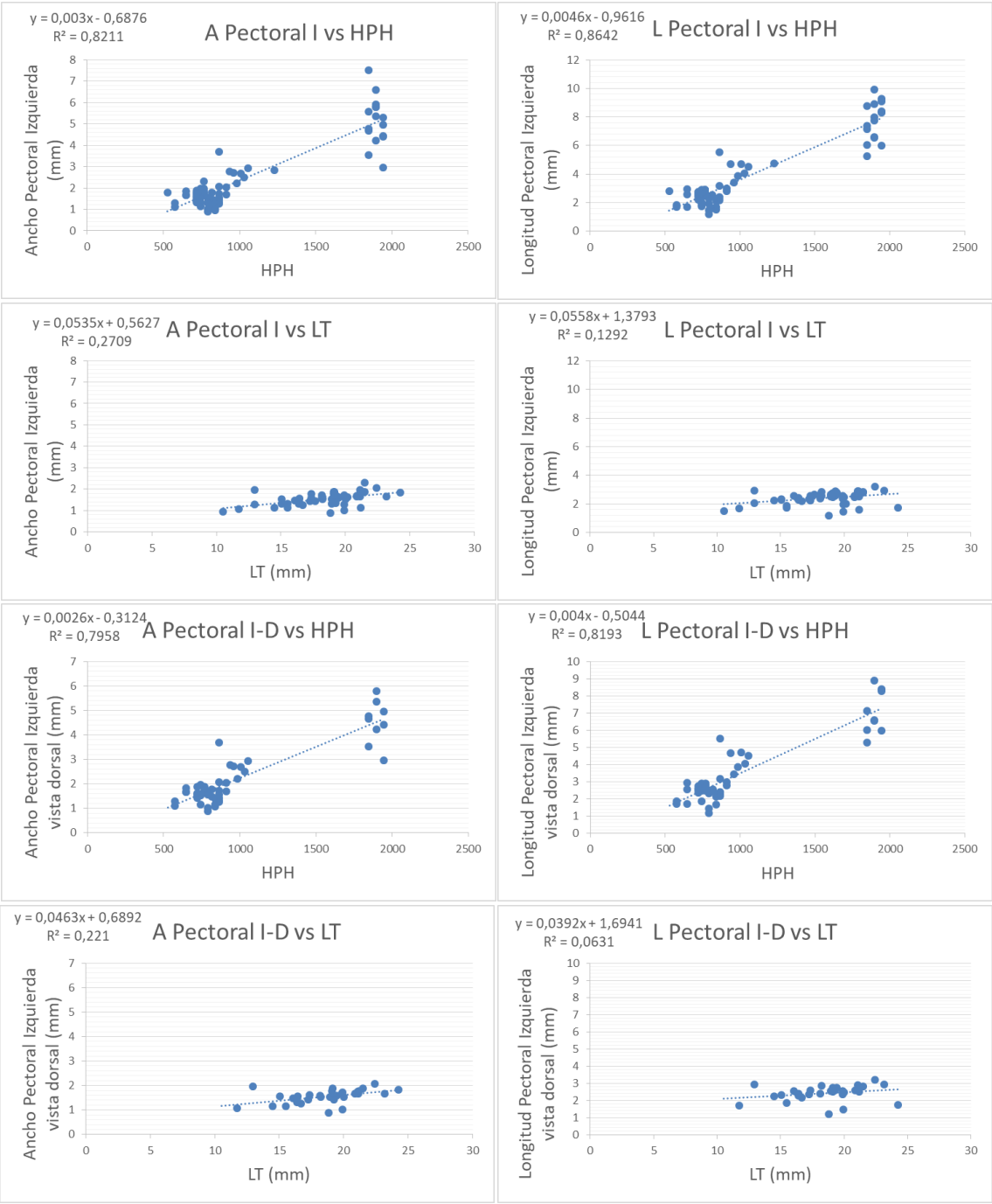


Anexo 2. Modelos lineales

Otros modelos lineales calculados a partir de las muestras completas y de la vista dorsal (i).

Aletas pectorales

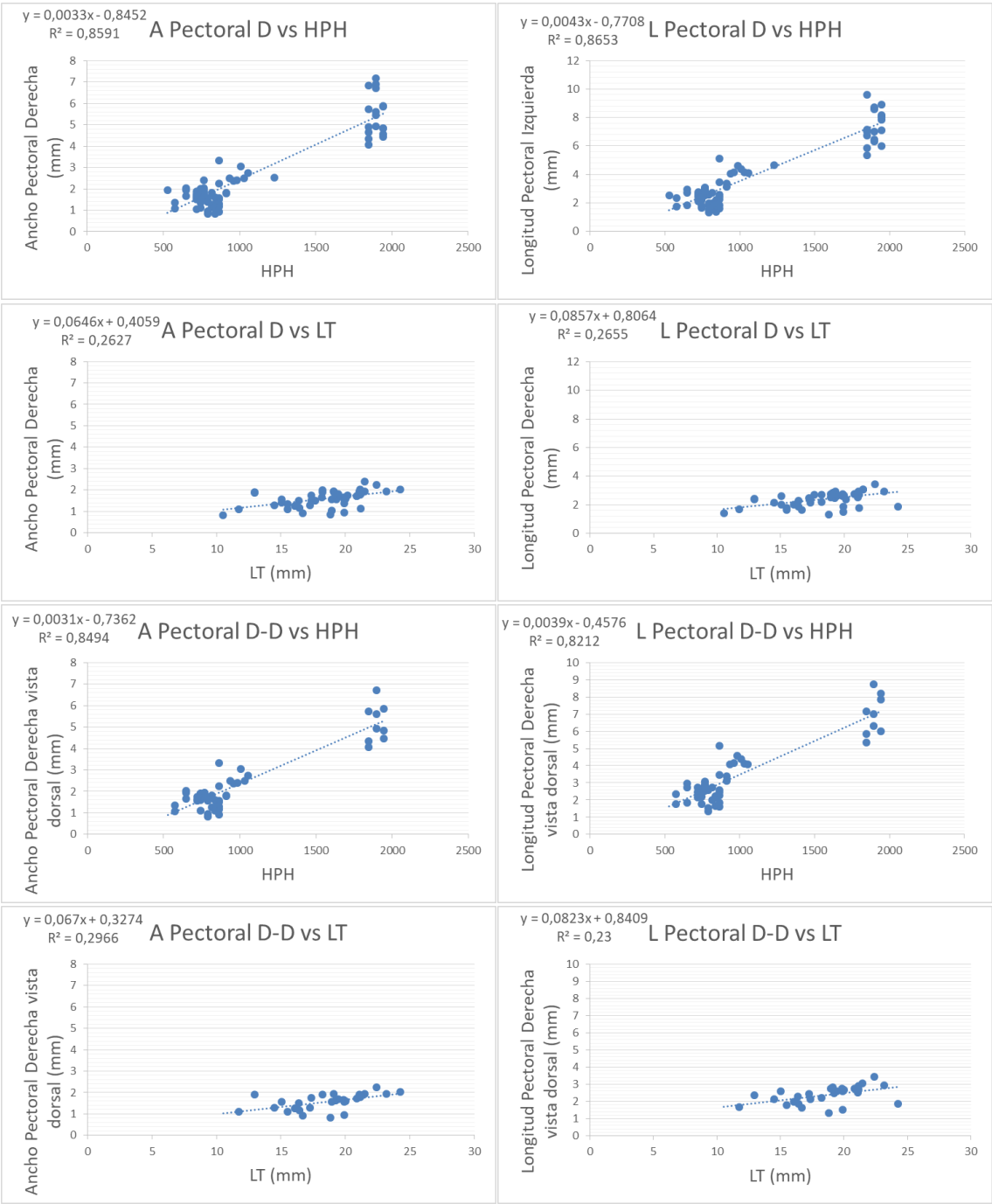
Aleta pectoral izquierda



Otros modelos lineales calculados a partir de las muestras completas y de la vista dorsal (ii)

Aletas pectorales

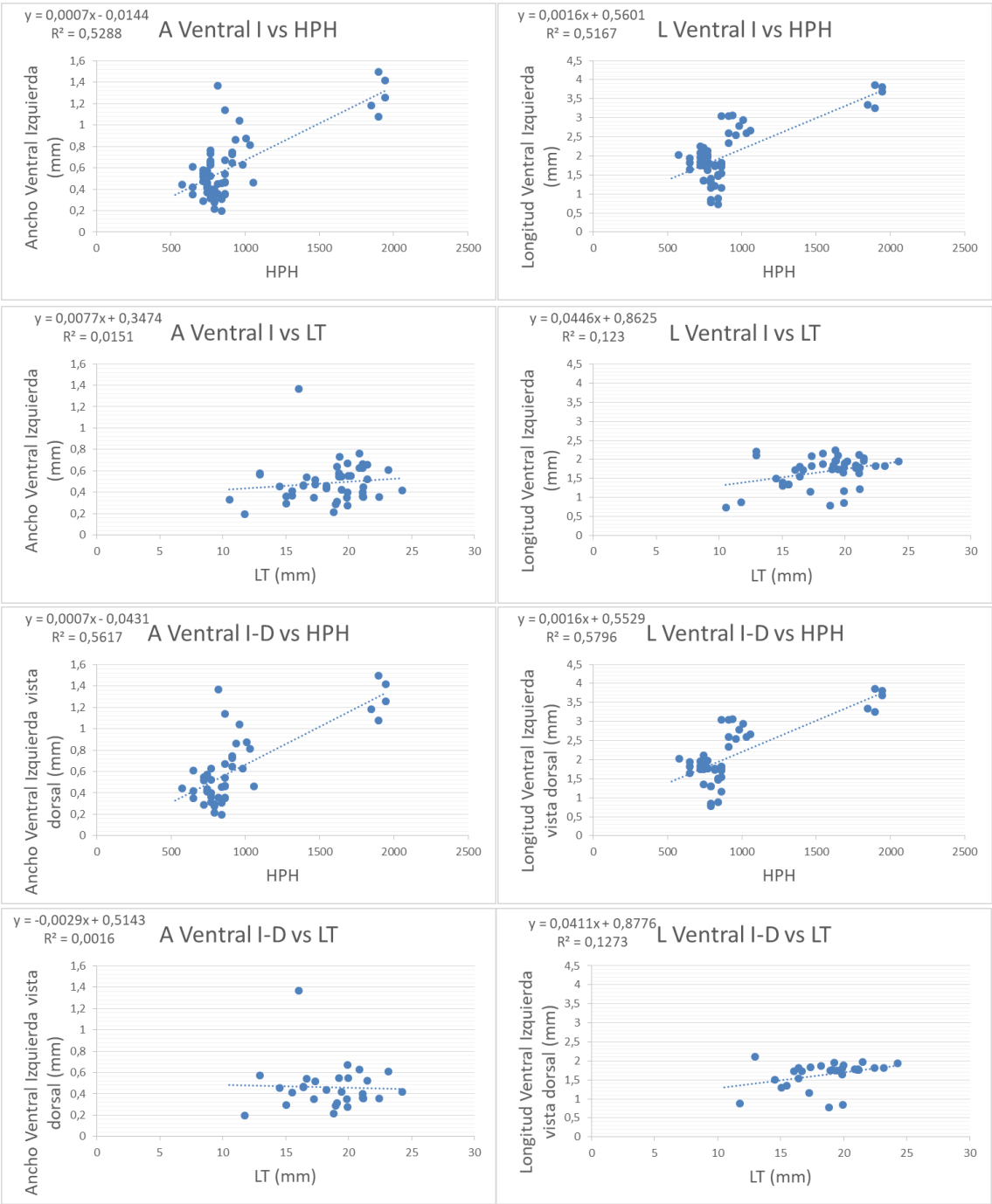
Aleta pectoral derecha



Otros modelos lineales calculados a partir de las muestras completas y de la vista dorsal (iii)

Aletas ventrales

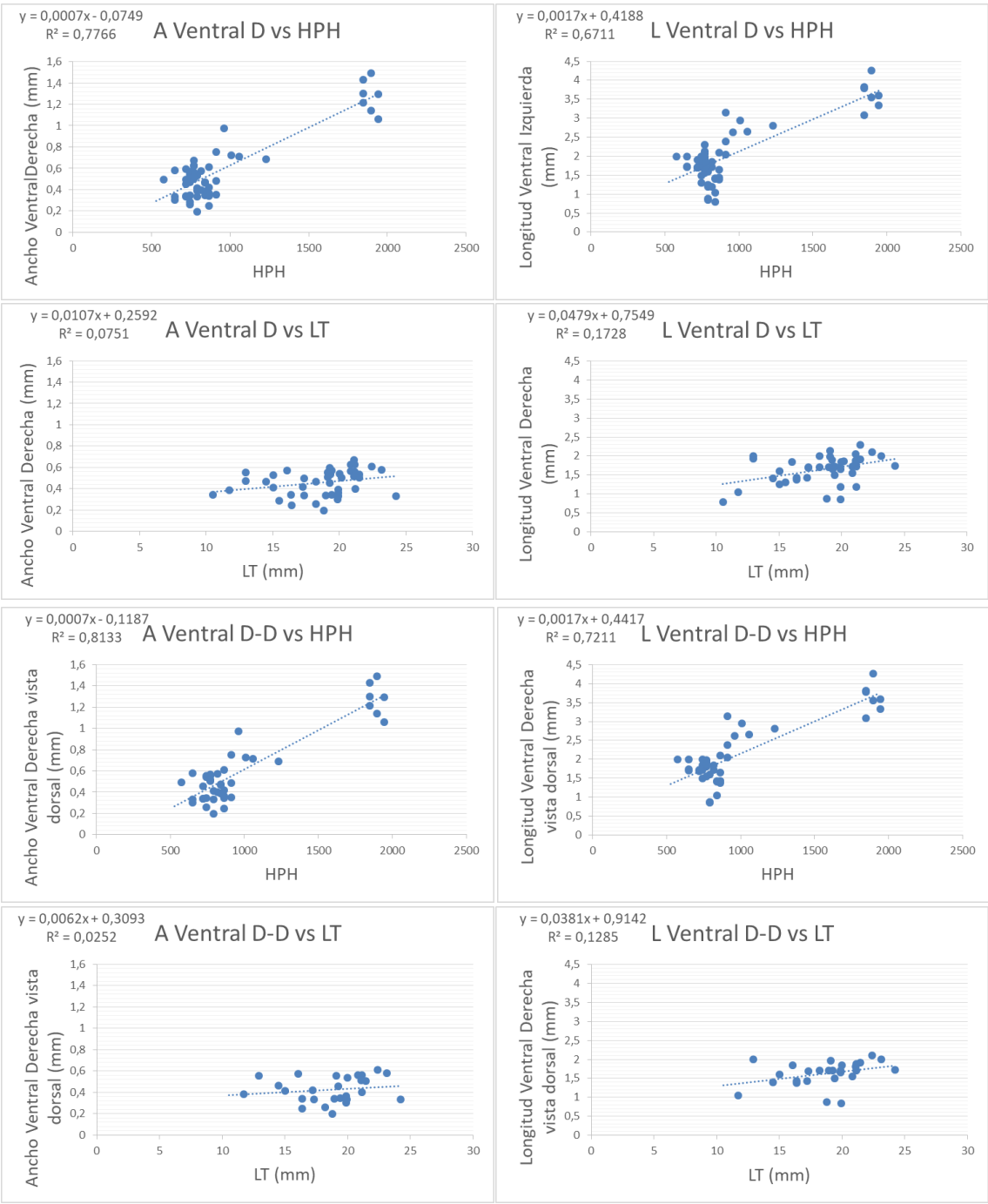
Aleta ventral izquierda



Otros modelos lineales calculados a partir de las muestras completas y de la vista dorsal (iv)

Aletas ventrales

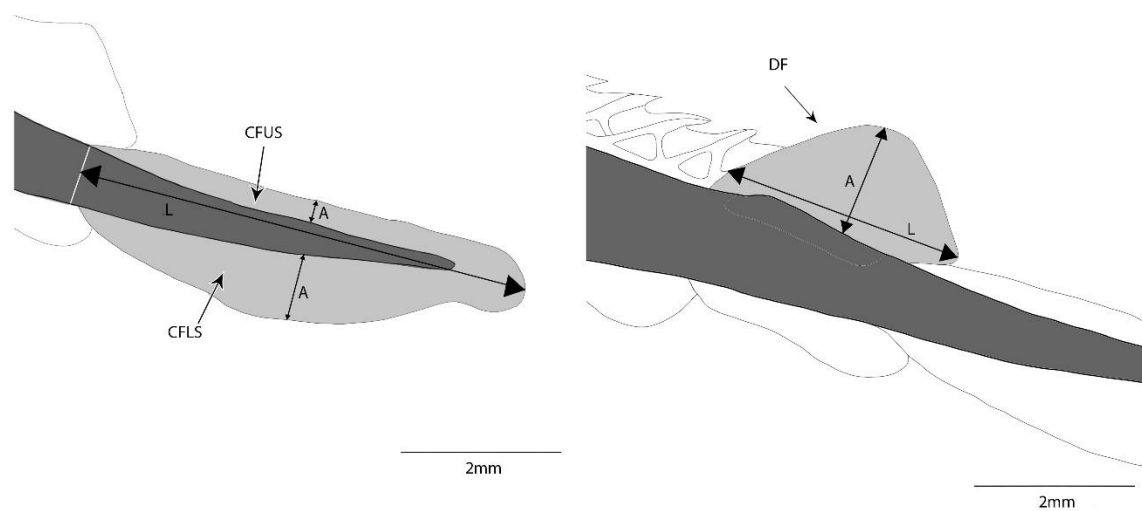
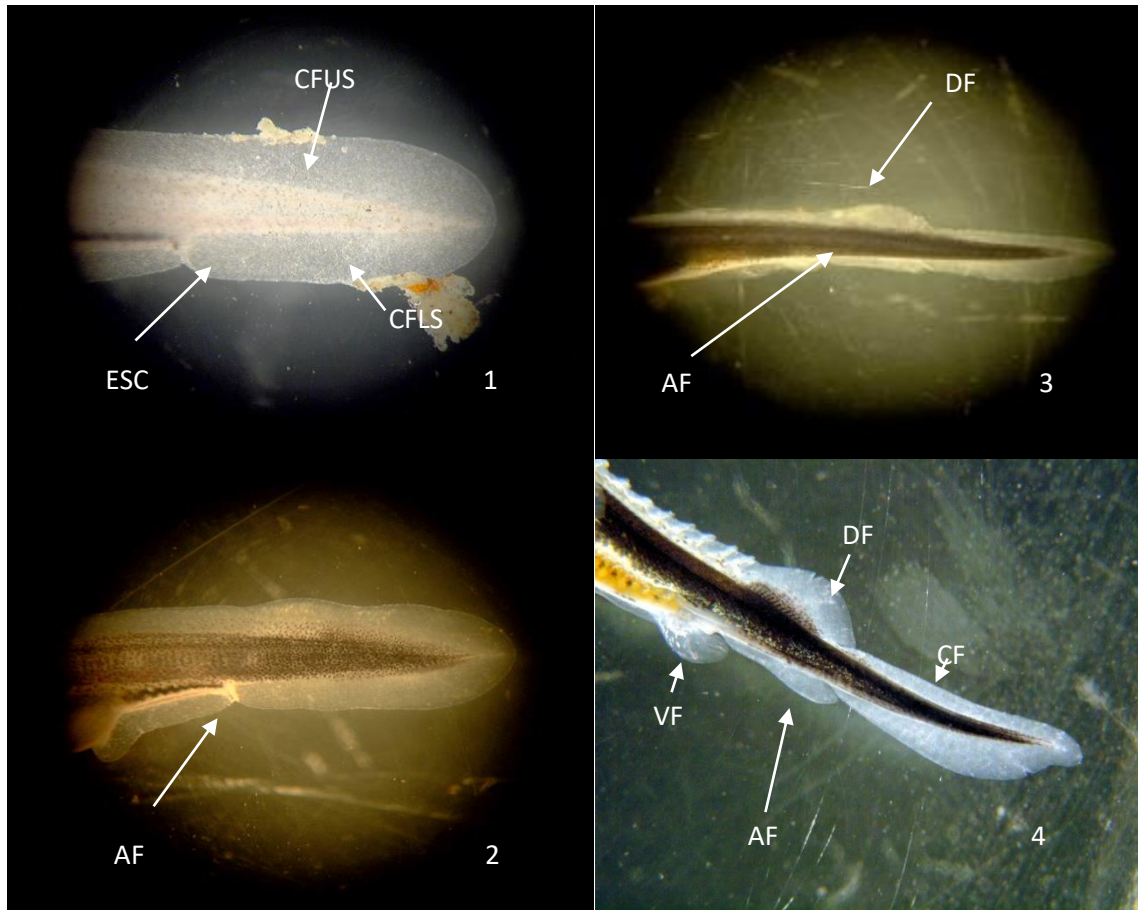
Aleta ventral derecha



Anexo 3. Imágenes del desarrollo de las aletas (de embrión a adulto)

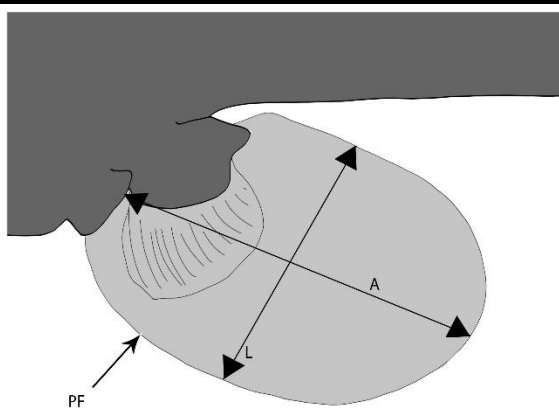
Seguimiento visual del desarrollo de las aletas (i)

Aleta caudal y dorsal



Seguimiento visual del desarrollo de las aletas (ii)

Aletas pectorales



1mm

a)

Seguimiento visual del desarrollo de las aletas (iii)

Aletas ventrales

